

Aus der Orthopädischen Universitäts- und Poliklinik,
Universitätskliniken, Homburg / Saar
Direktor: Prof. Dr. med. Dieter Kohn
Fachbereich 4 (Klinische Medizin)
der Universität des Saarlandes, Homburg / Saar

**Isokinetisches Muskeltraining in der postoperativen Frühphase
nach arthroskopisch assistierter Kreuzband-Plastik**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes
2005

Vorgelegt von **Daniel Böhm**

geb. am: 07.04.1973 in Stuttgart Bad-Cannstatt

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3-6
I. Einleitung.....	7-10
1. Krankheitsbild.....	7
2. Rehabilitative Maßnahmen.....	8
3. Zielsetzung.....	10
II. Material und Methoden.....	11-20
1. Patientenspektrum.....	12
1.1. Ein – und Ausschlusskriterien.....	12
1.2. Struktur des Patientenkollektivs.....	12
1.2.1. Alter.....	12
1.2.2. Geschlecht.....	13
1.2.3. Krankheitsbild und Therapie.....	13
1.2.4. Ausfälle.....	14
2. Studiendesign.....	15
2.1. Kontrolluntersuchungen.....	15
2.2. Untersuchungsdurchführung.....	15
2.2.1. Klinische Untersuchung.....	15
2.2.1.1. Messung der Beinumfange.....	15
2.2.1.2. Messung des Bewegungsausmaßes.....	16
2.2.1.3. Klinische Stabilitätsprüfung des VKB.....	16
2.2.1.4. Klinische Stabilitätsprüfung der Kollateralbänder.....	16
2.2.2. Apparative Untersuchung.....	16
2.2.2.1. Stabilitätsprüfung mittels Arthrometer.....	16
2.2.2.2. Isokinetische Messungen mittels Dynamometer.....	17
2.2.3. Erhebung klinischer Scores.....	19
3. Statistische Aufarbeitung der Daten.....	19
3.1. Auswertung der klinischen Untersuchung.....	19
3.2. Auswertung der apparativen Untersuchung.....	20
3.2.1. Stabilitätsprüfung mittels Arthrometer.....	20
3.2.2. Isokinetische Messungen mittels Dynamometer.....	20
3.3. Auswertung der Scores.....	21

III. Ergebnisse.....	22-31
1. Klinische Untersuchung.....	22
1.1. Bewegungsausmaß.....	22
1.2. Beinumfang.....	23
1.3. Klinische Untersuchung der Bandstabilität.....	24
1.4. KT1000 – Arthrometrie.....	24
2. Scores.....	25
2.1. Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm.....	25
2.2. IKDC Score.....	26
2.3. Score nach Lysholm und Gillquist.....	26
3. Isokinetische Messungen.....	27
3.1. Extensoren.....	28
3.2. Flexoren.....	30
IV. Diskussion.....	32-40
1. Therapie der VKB-Ruptur.....	32
2. Problem der postoperativen Quadricepsatrophie.....	32
3. Auswahl und Zuverlässigkeit der Testparameter.....	33
3.1. Das maximale Drehmoment (peak torque).....	33
3.2. Bestimmung des Oberschenkelumfangs.....	35
4. Auswirkungen des speziellen isokinetischen Trainings.....	36
4.1. Umfänge.....	36
4.2. Isokinetik.....	37
4.3. Scores.....	39
4.4. Stabilität.....	39
5. Schlussfolgerung.....	40
V. Anhang.....	41-43
VI. Literaturverzeichnis.....	44-53
VII. Abbildungsverzeichnis.....	54
VIII. Danksagung.....	55
IX. Lebenslauf.....	56

Zusammenfassung

Nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes entsteht regelmäßig eine Quadricepsatrophie. Durch einen operativen Eingriff zur Rekonstruktion des Bandes wird diese Atrophie häufig noch verstärkt, insbesondere wenn durch Verwendung eines Transplantats aus der Patellasehne der Streckapparat zusätzlich traumatisiert wird. In der Nachbehandlung liegt daher ein Schwerpunkt auf dem Wiederaufbau der Quadricepsmuskulatur.

Isokinetisches Training ist ein bewährtes Verfahren zur Behandlung der Quadricepsatrophie, da es eine gezielte und effektive Beübung der betroffenen Muskulatur erlaubt. Bisher wurde dieses Training in der postoperativen Frühphase nach VKB-Ersatz jedoch häufig gemieden, da eine Schädigung des Transplantats befürchtet wurde.

Ziel dieser Arbeit war es festzustellen, ob durch ein modifiziertes isokinetisches Quadriceptraining der muskuläre Status in der postoperativen Frühphase verbessert werden kann, ohne das Transplantat zu gefährden. Zur Reduktion der Translationskräfte wurde deshalb die Winkelgeschwindigkeit auf einen Wert größer 120 °/s und das Bewegungsausmaß auf einen Winkelbereich von 60 – 90 ° festgelegt. Zusätzlich erfolgte das isokinetische Training unter Anlage einer Vorrichtung, die die Translationskräfte im Kniegelenk reduziert.

In der hier vorliegenden randomisierten prospektiven klinischen Studie wurden die Patienten nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes (Patellasehnendrittel, Fixation durch Titan-Interferenzschrauben) einem von zwei Behandlungsregimen zugeordnet: Kollektiv 1 (Kontrollgruppe, n=13) erhielt von der 7.-13. Woche dynamische Übungen in einer geschlossenen kinematischen Kette. Kollektiv 2 (Trainingsgruppe, n=10) erhielt von der 7.-13. Woche das beschriebene modifizierte isokinetische Quadriceptraining. Ab der 13. Woche wurden beide Kollektive in dasselbe Nachbehandlungsschema überführt, das sowohl isokinetische Übungen als auch Übungen in einer geschlossenen Kette beinhaltet. Es erfolgten klinische Nachuntersuchungen nach 1,5 Monaten, sowie zusätzlich isokinetische Messungen und Stabilitätsprüfungen nach 3, 6 und 12 Monaten.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch das modifizierte isokinetische Quadricepstraining die Stabilität des Transplantats nicht beeinträchtigt wird. Eine Tendenz zur Überlegenheit des isokinetischen Trainings war in den isokinetischen Messungen der Kniegelenksextensoren und bei Bestimmung der Beinumfangsdifferenzen zu verzeichnen. Die subjektive Zufriedenheit war in beiden Kollektiven nach 12 Monaten gleichermaßen hoch.

Schlussfolgerung: Ein modifiziertes isokinetische Quadricepstraining in der postoperative Frühphase nach Plastik des vorderen Kreuzbandes erscheint sinnvoll. Die Atrophie und funktionelle Beeinträchtigung der Quadricepsmuskulatur kann damit gezielt behandelt werden ohne Schaden für das Transplantat.

Summary

After the rupture of the anterior cruciate ligament an atrophy of the quadriceps muscle occurs regularly. By the means of surgery used to reconstruct the ligament the atrophy is sometimes even enhanced, especially if the extensor muscle group is additionally traumatized by using a graft of the patella tendon. Due to this one focus of rehabilitation lies on reinforcement of the quadriceps muscle.

Isokinetic muscle training is a popular method of treating the atrophy of the quadriceps muscle, because it makes an efficient and specific training of the involved muscles possible. Up to now this training was frequently avoided in the early postoperative period, as it was supposed to generate forces leading to graft insufficiency.

The aim of this written thesis was to find out, whether the results of early postoperative rehabilitation treatment can be improved by using a modified isokinetic quadriceps training without damaging the graft. In order to reduce translation forces the angle velocity was set at a value above 120 °/s and the range of motion was limited at 60 – 90°. Additionally isokinetic training was performed using a device to reduce translation forces in the knee joint.

In this randomised prospective clinical study patients after ACL-replacement (ligamentum patellae; fixation with titanium interference screws) were assigned to one of two regimes of treatment: Group 1 (reference group, n=13) underwent a rehabilitation program with dynamic exercises in a closed kinematic chain from the 7th - the 13th week. Group 2 (training group, n=10) performed the mentioned modified isokinetic quadriceps training from the 7th – the 13th week. After the 13th week both groups were trained according to the same plan of rehabilitation program including isokinetic exercises and exercises in a closed kinematic chain. Clinical examinations after 1,5 months and additional isokinetic and stability measurements after 3, 6 and 12 months were performed.

Results reveal that the graft was not damaged evidently by the modified isokinetic quadriceps training. Better results for the isokinetic group were observed by isokinetic measurement of knee extensors and by determination of thigh circumferences. After 12 months subjective satisfaction was equally high in both groups.

Conclusion: a modified isokinetic quadriceps training in an early period after the reconstruction of the anterior cruciate ligament apparently makes sense. The atrophy and functional disability of the quadriceps muscle can be treated specifically without damage to the graft.

I. Einleitung

1. Krankheitsbild

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) ist eine der häufigsten Kniegelenkverletzungen. Zur Behandlung dieser Verletzung werden sowohl konservative (Kräftigung der gelenkübergreifenden Muskulatur, Orthesen) als auch operative Verfahren (primärer Bandersatz) angegeben. Zumindest beim Auftreten von Instabilitäten und erhöhtem Stabilitätsbedarf haben die operativen Verfahren langfristig bessere Ergebnisse gezeigt [3, 7, 9, 10, 22, 23, 49, 60, 68, 73].

Gleich welcher therapeutische Weg eingeschlagen wird, kommt es in den ersten Monaten nach Ruptur des VKB und dessen Ersatz zu einem Kraftverlust [2, 16, 20, 26, 44, 46, 63, 65] durch Atrophie der Knieextensoren und -flexoren, der zu einer Minderung der sportlichen Leistungsfähigkeit und Ausdauer führt [28, 76]. Gelegentlich kann ein muskulärer Status, der dem vor Verletzung entspricht, erst nach Jahren, teilweise auch überhaupt nicht, wiedererlangt werden [39, 61, 62, 66, 69, 70, 71].

Vermutete Ursachen hierfür sind:

- die VKB-Ruptur selbst, da das muskuläre Funktionsdefizit auch bei konservativer Therapie auftritt.
- das Operationstrauma [16, 75], insbesondere bei Verwendung des Ligamentum patellae mit Schwächung des Streckapparates.
- die postoperative Ruhigstellung und Entlastung.

Daher wurde in jüngster Zeit vermehrt versucht, der Entstehung dieser Defizite durch aggressive Rehabilitationsschemata in der frühen postoperative Phase entgegenzutreten.

2. Rehabilitative Maßnahmen

Die rehabilitativen Behandlungskonzepte nach Kreuzbandplastik sind vielfältig und noch nicht vollständig auf ihrer Effektivität überprüft. THOMSON et al. [78] veröffentlichten 2002 die Ergebnisse einer Metaanalyse von 31 Studien mit insgesamt 1545 Patienten. Ziel war es, die Effektivität verschiedener Rehabilitationsprogramme nach VKB-, MCL - und Meniskusverletzungen zu überprüfen. Hierbei konnte keine Überlegenheit eines bestimmten Verfahrens bewiesen werden.

In der vorliegenden Arbeit sollte insbesondere das frühe postoperative Training des M. quadriceps untersucht werden, da dieser Muskel nach einer VKB-Ruptur am deutlichsten sowohl einer Atrophie als auch einer Funktionsbeeinträchtigung unterliegt [16, 28, 44, 51, 61, 62].

Möglichkeiten für ein Quadricepstraining sind:

- isometrische Übungen
 - wenig effektive Maßnahme, da keine Bewegung der Extremität stattfindet und erhöhte Zugkräfte für das Transplantat schädigend sein können.
- dynamische Übungen:
 - „offene Kette“ (z. B. Extensionsgerät, Isokinetik siehe Abbildung 1):
 - sehr effiziente Maßnahme [14], da insbesondere beim isokinetischen Training eine isolierte Beübung der einzelnen Muskelgruppen erfolgt. Zudem besteht die Möglichkeit der computer-gestützten Bewegungsanalyse und Steuerbarkeit des Bewegungsablaufs (Bestimmung von Geschwindigkeit und Bewegungsausmaß sowie Kontrolle des Drehmoments) sowie der Einsatz von Feedback-Verfahren zur Verbesserung der Koordination des Bewegungsablaufs und Motivation des Patienten.
 - aber: die auftretenden Translationskräfte können das Transplantat nachhaltig schädigen [40, 43, 47, 48, 57, 72, 79].



Abb. 1: Darstellung einer isokinetischen Übung für die Extensoren des Oberschenkels nach dem Prinzip einer „offenen Kette“.

- „geschlossene Kette“ (z. B. Leg press siehe Abbildung 2):
 - Maßnahme, die eine hohe Sicherheit bietet, da geringere Translationskräfte als in einer „offenen Kette“ auftreten [58, 67].
 - aber: die Effektivität ist gegenüber einer „offenen Kette“ geringer, da keine selektive Beübung der betroffenen Muskulatur gewährleistet werden kann. Außerdem besteht für den Patienten die Möglichkeit zur Durchführung kompensatorischer Bewegungen (z. B. im Hüftgelenk), was im Bezug auf das Rehabilitationsziel als kontraproduktiv anzusehen ist und mit einer Fehlbelastung der betroffenen Extremität einhergeht.



Abb. 2: Darstellung einer Übung an der „leg press“ nach dem Prinzip einer „geschlossenen Kette“.

3. Zielsetzung

Ziele und Fragestellungen der vorliegenden Studie waren:

1. Kann durch ein modifiziertes isokinetisches Quadricepstraining in der postoperativen Frühphase nach arthroskopisch assistierter Kreuzband-Plastik der auftretenden Atrophie und Kraftminderung entgegen getreten werden?
2. Ergeben sich hierdurch Vorteile für den Patienten im Vergleich zum Training in einer geschlossenen kinematischen Kette?
3. Lässt sich ein schädigender Einfluss des modifizierten isokinetischen Trainings auf das Transplantat erkennen?

II. Material und Methoden

Im Rahmen einer prospektiven Studie wurden 37 Patienten mit einer frischen isolierten vorderen Kreuzbandruptur untersucht. Bei allen wurde das vordere Kreuzband mit einem autologen Patellasehnen-Transplantat in arthroskopisch assistierter Einkanaltechnik rekonstruiert. Anschließend wurden die Patienten randomisiert in 2 Kollektive aufgeteilt.

- Kollektiv 1 (n=20) erhielt ein Standard-Nachbehandlungsschema, bei dem ab der 7. Woche post operationem Übungen in einer geschlossenen Kette („leg press“) zwei- bis dreimal wöchentlich durchgeführt wurden.
- Kollektiv 2 (n=17) erhielt ein modifiziertes Nachbehandlungsschema, bei dem ab der 7. Woche post operationem mit isokinetischen Übungen des M. quadriceps femoris zwei bis drei mal wöchentlich begonnen wurde. Um die auf das Transplantat wirkenden Translationskräfte so gering wie möglich zu halten, wurden folgende Bedingungen gefordert:

1. Die Übungen mussten mit einer Winkelgeschwindigkeit von mindestens $120^{\circ}/s$ durchgeführt werden [77].
2. Die Bewegung musste zwischen 60° und 90° in Flexionsstellung des Kniegelenkes stattfinden [72].
3. Eine Abstützung des Unterschenkels an der Tuberositas tibiae („shin pad“) musste während den Übungen angelegt werden [52, 53].

Es wurden pro Trainingssitzung 4-5 Serien mit je 10-20 Wiederholungen bei submaximalem Krafteinsatz durchgeführt. In den Pausen erfolgte passives Bewegen mit Geschwindigkeiten von $30-60^{\circ}/s$. War das Drehmoment um mehr als 40% reduziert, wurde die Übung abgebrochen.

Ab dem 3. Monat post operationem erhielten die Patienten beider Kollektive das gleiche Nachbehandlungsschema mit isokinetischem Quadricepstraining zwei- bis dreimal wöchentlich.

Es erfolgten Nachuntersuchungen 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate postoperativ mit Erhebung statischer und dynamischer Parameter nach einem festgelegten Schema.

1. Patientenspektrum

1.1. Ein - und Ausschlusskriterien

In die vorliegende Studie wurden 37 Patienten aufgenommen, die sich eine vordere Kreuzbandruptur zugezogen hatten. Hierbei galten die in Tabelle 1 genannten Ausschlusskriterien. Bei allen Patienten wurde eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durch ein autologes Patellasehnen-Transplantat in arthroskopisch assistierter Einkanal-Technik durchgeführt.

<u>Ausschlusskriterien</u>
<ul style="list-style-type: none">▪ veraltete Kreuzbandruptur > 6 Monate.▪ Muskelumfangsdifferenz von mehr als 2 cm am Oberschenkel (gemessen 10 cm oberhalb des Gelenkspaltes) als Ausdruck einer bereits manifesten Atrophie.▪ Erkrankungen und Begleitverletzungen, die keine standardisierte Rehabilitation erlauben

Tab. 1: Ausschlusskriterien

1.2. Struktur des Patientenkollektivs

1.2.1. Alter

Das Altersspektrum der Patienten in Kollektiv 1 lag zwischen 17 und 40 Jahren zum Zeitpunkt der Verletzung; das Durchschnittsalter lag bei 30,4 Jahren.

Das Altersspektrum der Patienten reichte in Kollektiv 2 von 17 bis 43 Jahre zum Zeitpunkt der Verletzung; das Durchschnittsalter lag bei 29,8 Jahren.

1.2.2. Geschlecht

Nach Abzug der Ausfälle bestand Kollektiv 1 aus 6 Frauen und 7 Männern, Kollektiv 2 aus 2 Frauen und 8 Männern (Tab. 2).

1.2.3. Krankheitsbild und Therapie

Bei beiden Kollektiven wurde der Kreuzbandersatz durch ein Transplantat aus dem mittleren Patellasehndrittel mit Knochenblöckchen von 25 mm Länge in standardisierter Technik durchgeführt (Abbildung 3). Die Fixierung des Transplantates erfolgte mit Titan-Interferenzschrauben.



Abb. 3: schematische Darstellung einer Kreuzbandplastik.

Die Nachbehandlung in der postoperativen Frühphase erfolgte in beiden Gruppen ohne Orthese mit freier Bewegung, isometrischen Übungen und voller Belastung sobald das Gelenk muskulär stabilisiert werden konnte.

Die Patienten des Isokinetik-Kollektivs (Kollektiv 2) erhielten ab der 7. Woche nach Operation ein isokinetisches Training der Kniegelenksextensoren nach unten beschriebenem Schema. Kollektiv 1 erhielt ab der 7. Woche ein Training der Kniegelenksextensoren gegen Widerstand in einer geschlossenen Kette („leg press“). Ab der 13. Woche post operationem wurde hier das Trainingsprogramm um isokinetische Übungen wie in Kollektiv 2 ergänzt. Lauftraining war ab dem 6. Monat, sportspezifisches Training (Wettkampf) ab dem 9. Monat erlaubt.

1.2.4. Ausfälle

Während des Studienverlaufs kam es insgesamt zu 14 Ausfällen, davon 7 in der Isokinetik-Gruppe und 7 in der Standard-Gruppe. Ein Patient musste wegen Schmerzen bei Belastung und rezidivierender Gelenkergüsse aus der Studie ausgeschlossen werden. In den übrigen 13 Fällen konnte der Datensatz aufgrund mangelnder Compliance nicht vervollständigt werden, was zu einem Ausschluss aus der Studie führte. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht beider Kollektive nach Ausschluss der Ausfälle.

Struktur beider Kollektive:
<p><u>Kollektiv 1 (Standard-Kollektiv)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muskeltraining in „geschlossener Kette“ („leg press“) ab der 7 postoperativen Woche. ▪ isokinetisches Quadricepstraining ab der 13. postoperativen Woche. ▪ männlich : weiblich = 7 : 6 ▪ Verletzungsverhältnis rechts : links = 6 : 7 <p><u>Kollektiv 2 (Isokinetik-Kollektiv)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ isokinetisches Quadricepstraining ab der 7. postoperativen Woche. ▪ Winkelgeschwindigkeit > 120°/s ▪ Bewegungsausmaß zwischen 60° und 90° Flexion des Kniegelenkes ▪ anti-sheer-device („shin pad“) ▪ männlich : weiblich = 8 : 2 ▪ Verletzungsverhältnis rechts : links = 6 : 4

Tab. 2: Studienprofil nach Ausschluss der Ausfälle.

2. Studiendesign

2.1. Kontrolluntersuchungen

Die Nachuntersuchungen erfolgten nach 6 Wochen, sowie 3, 6 und 12 Monate post operationem. Zu allen Untersuchungsterminen wurde eine klinische Untersuchung mit Bestimmung der Beinumfang, des Bewegungsausmaßes sowie die Prüfung der Stabilität der Kreuzbänder und Kollateralbänder durchgeführt.

In den Untersuchungen nach 3, 6 und 12 Monaten erfolgten zusätzlich Messungen der antero-posterioren Translation der Tibia mit dem KT1000 Arthrometer^{a)}, sowie eine isokinetische Untersuchung der kniegelenksübergreifenden Muskulatur an einem KinCom Dynamometer^{b)}.

2.2. Untersuchungsdurchführung

2.2.1. Klinische Untersuchung

2.2.1.1. Messung der Beinumfang

Die Beinumfangsmessung wurde am gesunden und betroffenen Bein beim liegenden Patienten an jeweils 4 definierten Punkten durchgeführt:

- Oberschenkelumfang, gemessen 10 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.
- Oberschenkelumfang, gemessen 20 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.
- Unterschenkelumfang, gemessen 15 cm distal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.
- Patellamitte in Höhe des Gelenkspaltes.

^{a)} MED Metric Corp., San Diego

^{b)} Kin-Com 2, Chattex Corp., Chattanooga, USA

2.2.1.2. Messung des Bewegungsausmaßes

Das Bewegungsausmaß wurde nach der Neutral-Null-Methode erfasst. Das gesunde und das betroffene Bein wurden in ihrem Bewegungsausmaß bei passiver und aktiver Flexion und Extension mit einem Standard-Winkelmesser gemessen.

2.2.1.3. Klinische Stabilitätsprüfung des ACL

Zur Kreuzbandstabilitätsprüfung wurden drei gängige Untersuchungsmethoden angewandt:

- Lachmann Test
- Prüfung der vorderen Schublade
- Pivot-Shift Test

2.2.2. Apparative Untersuchungen

2.2.2.1. Stabilitätsprüfung mittels KT1000 Arthrometer^{a)}

Die a.p.-Translation beider Kniegelenke als Ausdruck der vorderen Stabilität wurden mit dem KT1000 Arthrometer geprüft. Dabei wurden mit dem Messinstrumentarium drei standardisierte passiv anteriore Zugkräfte (15 lbf, 20 lbf und 30 lbf, entsprechend 66,72 N, 88,96 N und 133,45 N) sowie maximaler Kraft des Untersuchers beim liegenden Patienten auf die Tibia in 30° Flexion ausgeübt. Der dabei resultierende Tibiavorschub wurde in mm gemessen und dokumentiert (Abbildung 4).

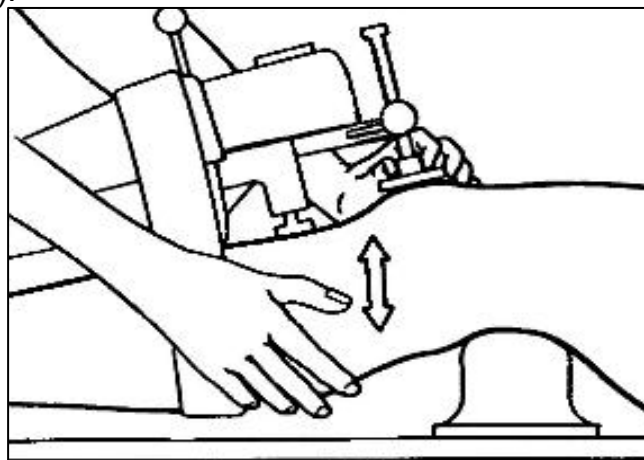


Abb. 4: Messung der a.-p.-Translation (Maximalkrafttest).

^{a)} MED Metric Corp., San Diego

2.2.2.2. Isokinetische Messungen mittels Dynamometer

Zur Ermittlung der dynamischen Muskelkraft wurden ab dem 3. Monat bei jeder Untersuchung Messungen mit dem KinCom Dynamometer H 500^{a)} (Abbildung 5) durchgeführt. Die Patienten wurden auf der Sitzvorrichtung fixiert und der Oberschenkel des zu beübenden Beines so angebracht, daß eine Bewegungsunterstützung der Knieextensoren und Flexoren durch Hüft- und Rumpfmuskulatur ausgeschlossen war. Der Unterschenkel wurde mit einem Tibia-Pad im unteren Drittel am Hebelarm fixiert [81] (Abbildung 6).



Abb. 5: Positionierung des Patienten auf dem KinCom Dynamometer.

^{a)} Kin-Com 2, Chattex Corp., Chattanooga, USA

Die Übungen erfolgten immer zuerst am gesunden Bein. Eine ausreichende Aufwärmphase wurde vor jeder Übung eingehalten. Die Patienten wurden aufgefordert die Übungen mit maximaler Kraftanstrengung durchzuführen.

Anhand des Bewegungsablaufs unterschieden wir konzentrisch/exzentrische und konzentrisch/konzentrische Übungen, bestehend aus je 10 Wiederholungen ohne Unterbrechung bei den Winkelgeschwindigkeiten 60°/s und 180°/s (Tab. 3). Anschließend folgte eine Erholungsphase von ca. 3 Minuten.

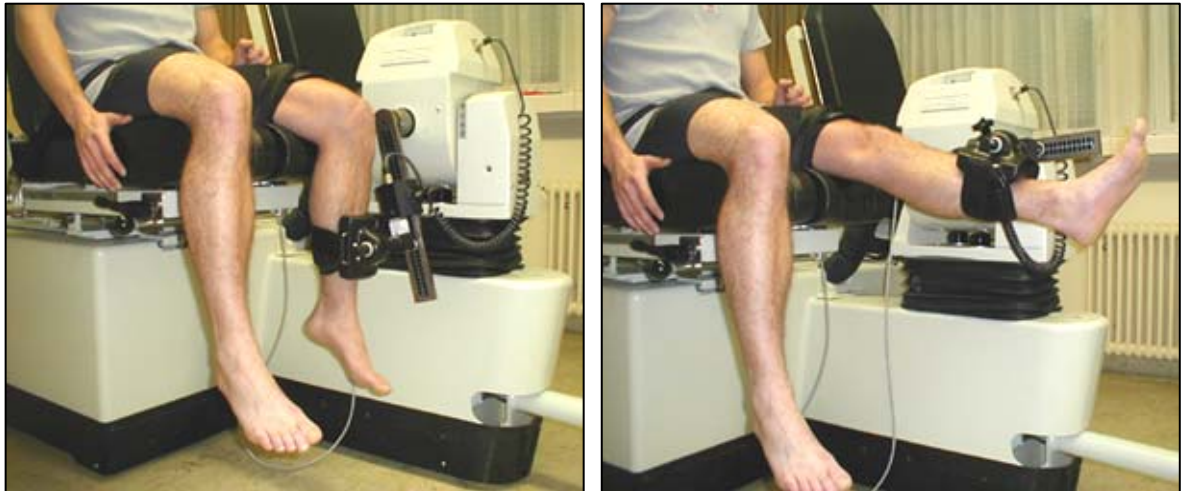


Abb. 6: Darstellung eines Übungsdurchlaufs am Kin-Com Dynamometer. Begonnen wurde bei einer Flexionsstellung von 90° (links). Es erfolgte eine Extensionsbewegung bis zum oberen Umkehrpunkt bei 15° (rechts) und anschließend eine Flexionsbewegung bis zum unteren Umkehrpunkt bei 90°.

Die Messungen erfolgten innerhalb des vorgegebenen Bewegungsausmaßes von 15°-90° Flexion (Abbildung 6). Gemessen wurde das maximale Drehmoment der Knieextensoren und -flexoren des gesunden und des betroffenen Beines unter definierten Bedingungen (Tab. 3).

	Muskelgruppe	Winkelgeschwindigkeit	Bewegungsmuster
Übung 1	Extensoren	60 °/s	konzentrisch/ exzentrisch
Übung 2	Extensoren	180 °/s	konzentrisch/ exzentrisch
Übung 3	Flexoren	60 °/s	exzentrisch/ konzentrisch
Übung 4	Flexoren	180 °/s	exzentrisch/ konzentrisch
Übung 5	Extensoren/ Flexoren	60 °/s	konzentrisch/ konzentrisch
Übung 6	Extensoren/ Flexoren	180 °/s	konzentrisch/ konzentrisch

Tab 3: Darstellung des isokinetischen Untersuchungsdurchgangs, der sich aus 6 Übungen zusammensetzt. Das Bewegungsmuster wurde in jeder Übung 10 mal wiederholt.

Die gemessenen Drehmomente wurden durch einen Sensor am Dynamometer digital in der Einheit Nm erfasst und zur weiteren EDV-gestützten Verarbeitung gespeichert.

2.2.3. Erhebung klinischer Scores

Zur Evaluierung der funktionellen Ergebnisse wurden bei jeder Untersuchung ab dem 3. Monat zusätzlich drei klinische Scores erhoben:

- Der Internationale Knieuntersuchungsbogen (IKDC; Anhang Abbildung 9), herausgegeben von der deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Arthroskopie .
- Der Kniescore nach Lysholm und Gillquist (Anhang Abbildung 7).
- Der Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm (Anhang Abbildung 8).

3. Statistische Aufarbeitung der Daten

Alle erhobenen Werte und Merkmale jedes Patienten wurden in einer Tabelle für jedes Kollektiv im Computerprogramm Excel^{a)} gespeichert. Zur Feststellung einer Normalverteilung führten wir zunächst den Anpassungstest nach Kolmogorov und Smirnov für kontinuierliche Variablen bzw. den χ^2 -Test für diskrete Variablen durch. Anschließend erfolgte die Berechnung signifikanter Unterschiede zwischen beiden Gruppen mit dem Statistik-Programm SPSS^{b)}, wobei im Falle einer wahrscheinlichen Normalverteilung eine t-Test Analyse für unverbundene Stichproben und im Falle nicht normalverteilter Daten der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt wurde. Die Ergebnisse wurden wiederum zur Weiterverarbeitung und graphischen Darstellung an Excel übergeben. In den folgenden Unterkapiteln werden die Besonderheiten der einzelnen Kategorien veranschaulicht.

^{a)} Microsoft Excel 97, Microsoft Corp., 1997

^{b)} SPSS 10.0, Chicago, USA

3.1. Auswertung der klinischen Untersuchung

Zum Vergleich der Beinumfangs wurde bei jedem Patienten die Differenz zwischen gesundem und betroffenem Bein berechnet. Die Mittelwerte wurden mit zugehöriger Standardabweichung in Diagrammen aufgetragen. Negative Werte geben hierbei höhere Messwerte der betroffenen Seite wider.

Das Bewegungsausmaß wurde in Form der Absolutwerte nach Neutral-Null-Methode graphisch dargestellt.

Die klinische Stabilitätsprüfung des Bandapparates beider Knie wurde deskriptiv in üblicher Nomenklatur erfasst.

3.2. Auswertung der apparativen Untersuchung

3.2.1. Stabilitätsprüfung mittels Arthrometer

Der bei den standardisierten Zugkräften gemessene Tibiavorschub in mm des gesunden Beines wurde von dem des betroffenen Beines abgezogen und der Mittelwert der Differenzen graphisch dargestellt. Negative Differenzen zeigen hier eine höhere Laxizität der gesunden Seite.

3.2.2. Isokinetische Messungen mittels Dynamometer

Alle über das KinCom Dynamometer^{a)} ermittelten maximalen Drehmomente (peak torque) wurden digital gespeichert. Der „peak torque“ gilt als der am besten dokumentierte und reproduzierbare Parameter der dynamischen Muskelfunktionen [40] und ist nicht winkelgebunden.

Um eine bessere Vergleichbarkeit beider Kollektive zu erreichen und interindividuelle Unterschiede innerhalb der Kollektive zu eliminieren, wurden die Drehmomente des betroffenen Knies als relativer Wert des gesunden Knies zum Untersuchungszeitpunkt ausgedrückt. Folgende Formel wurde verwendet:

$$\text{Betroffenes Bein in \%} = \frac{\text{Drehmoment betroffenes Bein} \times 100}{\text{Drehmoment gesundes Bein}}$$

^{a)} Kin-Com 2, Chattex Corp., Chattanooga, USA

Eine Analyse der so erhaltenen Werte beider Kollektive erfolgte wiederum mittels t-Test für unverbundene Stichproben im SPSS^{a)}-Statistikprogramm, da eine Normalverteilung vorlag.

Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

3.3. Auswertung der Scores

Anhand des Kniescores nach Lysholm und Gillquist wurden die errechneten Punktwerte beider Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Test mit dem SPSS Statistikprogramm analysiert und anschließend mit Excel^{b)} graphisch dargestellt.

Bei der Auswertung des Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm und des IKDC-Score wurde die Anzahl der Patienten einer bestimmten Kategorie in tabellarischer Form bzw. in einem Diagramm dargestellt.

^{a)} SPSS 10.0, Chicago, USA

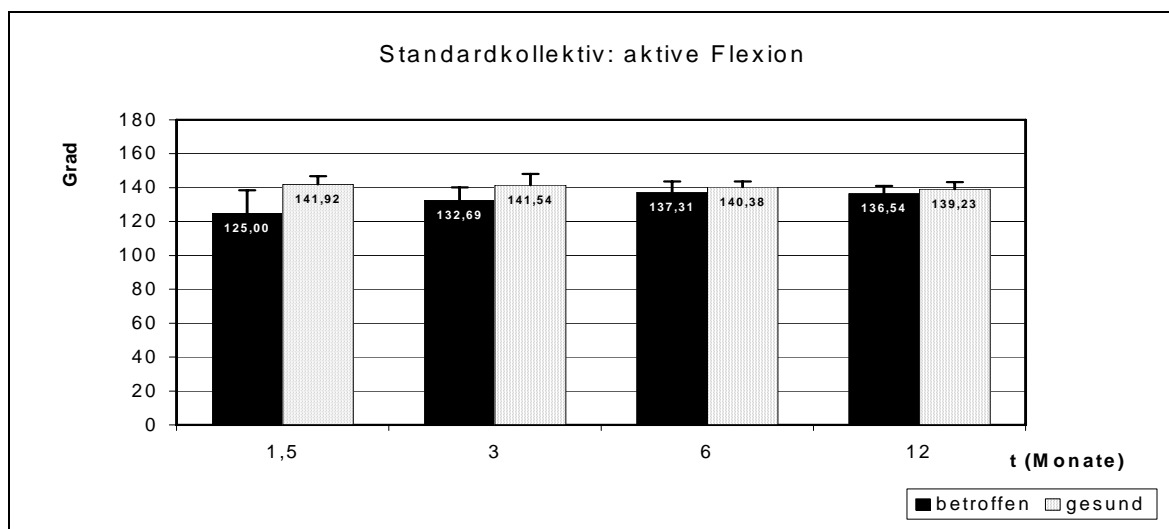
^{b)} Microsoft Excel 97, Microsoft Corp., 1997

III. Ergebnisse

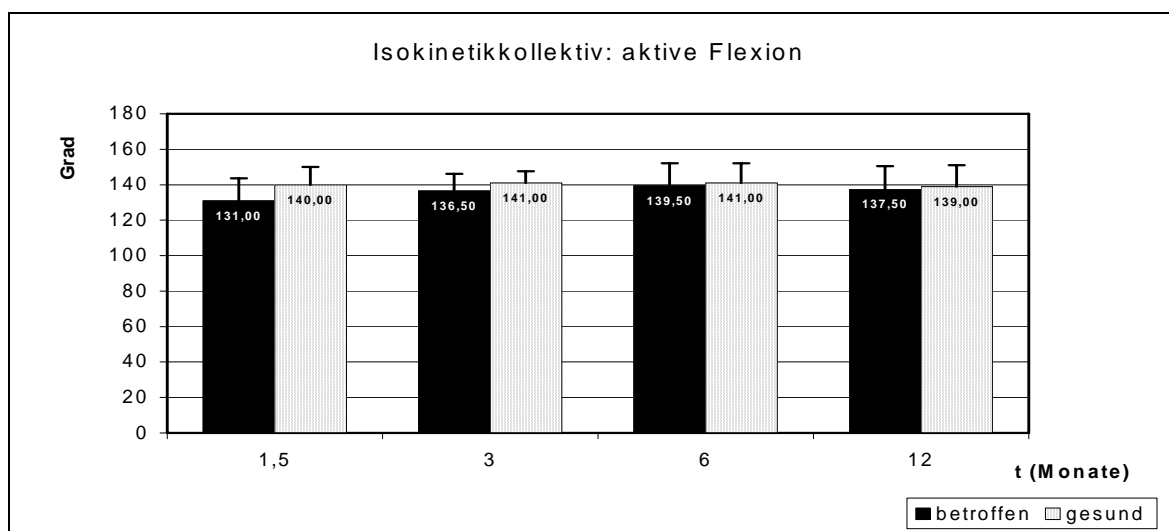
1. Klinische Untersuchung

1.1. Bewegungsausmaß

In beiden Gruppen kam es zu einem kontinuierlichen Anstieg des Bewegungsausmaßes am operierten Kniegelenk. Zwischen den Gruppen bestanden keine signifikanten Unterschiede. In allen Fällen bestand eine volle Streckung zu allen Untersuchungszeitpunkten.



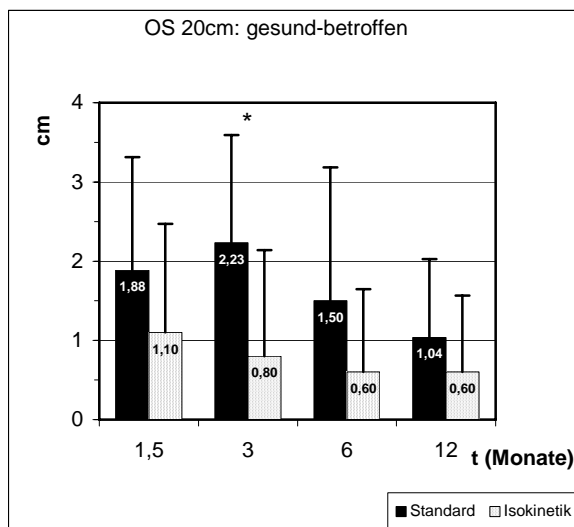
Diag. 1: Maximale aktive Flexion, Standard-Kollektiv. Angabe in Winkelgraden



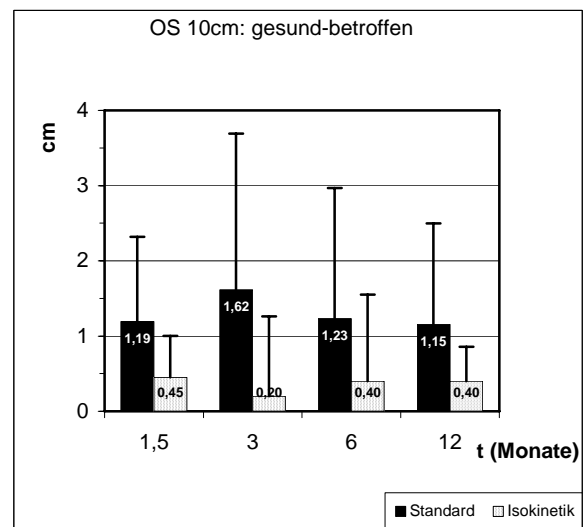
Diag. 2: Maximale aktive Flexion, Isokinetik-Kollektiv. Angabe in Winkelgraden.

1.2. Beinumfang

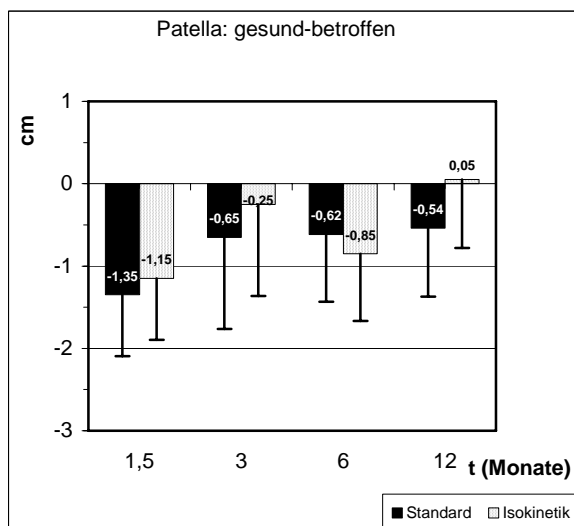
Zum Vergleich der Beinumfang wurde die Differenz zwischen gesundem und betroffenem Bein gebildet. Je größer die Differenz, um so stärker ausgeprägt ist die Atrophie des betroffenen Beines. Die negativen Werte in Höhe der Patella spiegeln eine Schwellung des betroffenen Knies wider. Es zeigte sich eine signifikant geringere Umfangsdifferenz in der Isokinetik-Gruppe 3 Monate postoperativ.



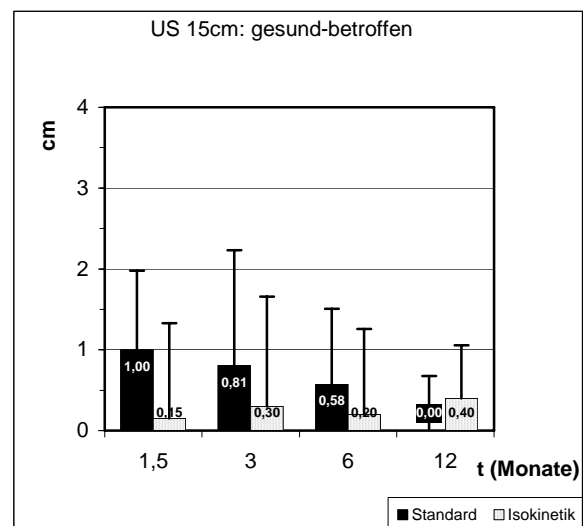
Diag. 3: Umfangsdifferenz zwischen gesundem und betroffenem Bein 20 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.



Diag. 4: Umfangsdifferenz zwischen gesundem und betroffenem Bein 10 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.



Diag. 5: Umfangsdifferenz zwischen gesundem und betroffenem Bein in der Patellamitte.



Diag. 6: Umfangsdifferenz zwischen gesundem und betroffenem Bein 15 cm distal des femoro-tibialen Gelenkspaltes.

*= signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p < 0,05$)

Bei Untersuchung der Beinumfangs innerhalb der jeweiligen Gruppe mittels T-Test für verbundene Stichproben zeigt sich:

- In der Standard-Gruppe besteht zu allen Untersuchungszeitpunkten ein signifikantes Defizit ($p < 0,05$) des Oberschenkelumfangs des betroffenen Beines, gemessen sowohl bei 20 cm als auch bei 10 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspalts
- In der Isokinetik-Gruppe besteht lediglich 6 Wochen postoperativ ein signifikantes Defizit ($p < 0,05$) des Oberschenkelumfangs des betroffenen Beines (20 cm und 10 cm proximal des femoro-tibialen Gelenkspalts). Bei den Untersuchungen nach 3, 6 und 12 Monaten ist dieses Defizit nicht mehr signifikant nachweisbar.

1.3. Klinische Untersuchung der Bandstabilität

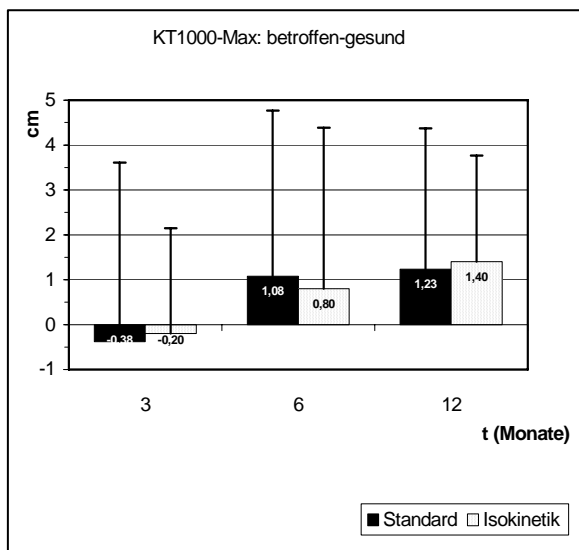
Die klinische Prüfung der Stabilität des vorderen Kreuzbandes mittels Lachman-Test und Pivot-Shift-Test, zeigten zu keinem Zeitpunkt das Vorliegen einer Bandinstabilität oder Transplantatinsuffizienz.

1.4. KT1000-Arthrometrie

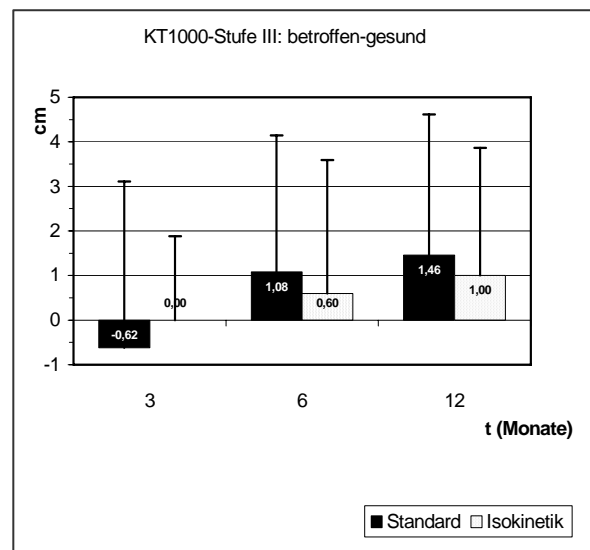
Bei der Untersuchung der Stabilität des vorderen Kreuzbandes mittels KT1000-Arthrometer^{a)} wurde bei beiden Gruppen keine signifikante Differenz zur gesunden Seite nachgewiesen. In beiden Gruppen nimmt die a.-p.-Translation am operierten Knie mit der Zeit gering zu. Die Diagramme 7 und 8 zeigen eine graphische Darstellung der Differenz der KT1000 Werte bei den Stufen III und MAX (entsprechend 133,45 N und maximaler Zugkraft). Bei Stufe I und II (entsprechend den Zugkräften 66,72 N und 88,96 N) wurde ebenso kein signifikanter Unterschied nachgewiesen.

a

^{a)} MED Metric Corp., San Diego



Diag. 7: Differenz zur gesunden Seite in mm bei Kraftstufe III.



Diag. 8: Differenz zur gesunden Seite in mm bei maximaler Kraft.

2. Scores

2.1. Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm

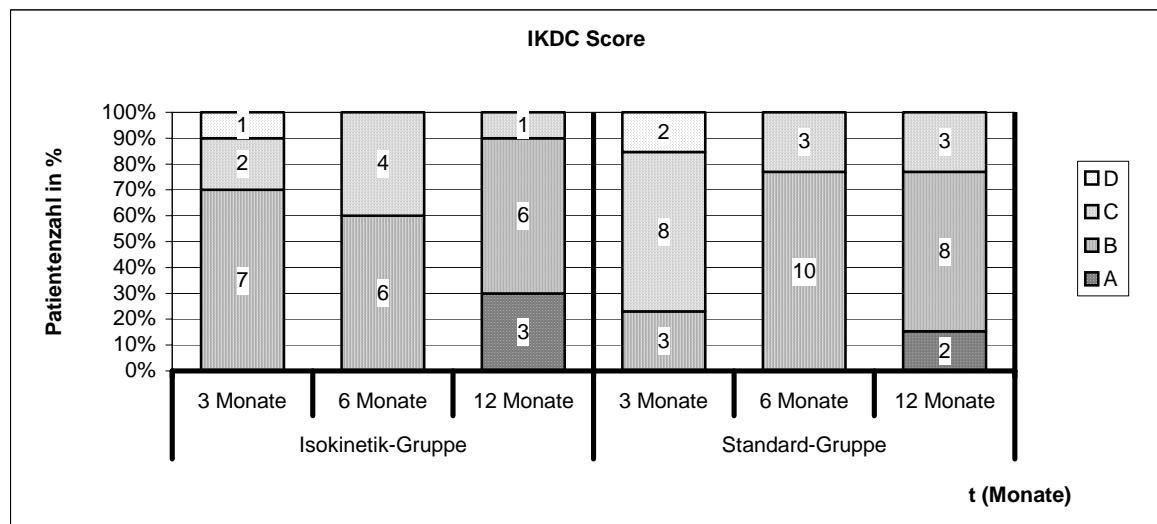
In beiden Gruppen findet sich eine Zunahme der körperlichen Aktivität bezogen auf berufliche und sportliche Tätigkeiten. Ein erkennbarer Unterschied zwischen den Kollektiven besteht nicht.

Tegner / Lysholm		0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Isokinetik	3 Monate				7	3						
	6 Monate				2	8						
	12 Monate					6	1	3				
Standard	3 Monate				5	7	1					
	6 Monate				1	7	4	1				
	12 Monate					4	3	4	1		1	

Tab. 4: Anzahl der Patienten eines Aktivitätslevels zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

2.2. IKDC Score

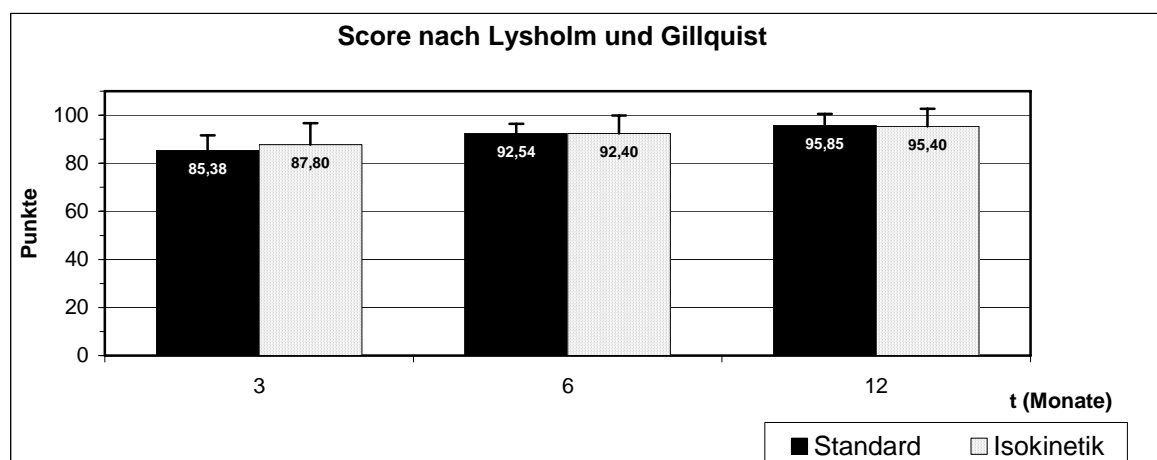
Die Klassifizierung der Patienten in den Stufen A – D des IKDC Score zeigt in beiden Kollektiven im zeitlichen Verlauf eine Verschiebung zu besseren Kategorien A und B. Ein erkennbarer Unterschied zwischen beiden Gruppen besteht nicht.



Diag. 9: Anzahl der Patienten in den Kategorien A bis D zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

2.3. Score nach Lysholm und Gillquist

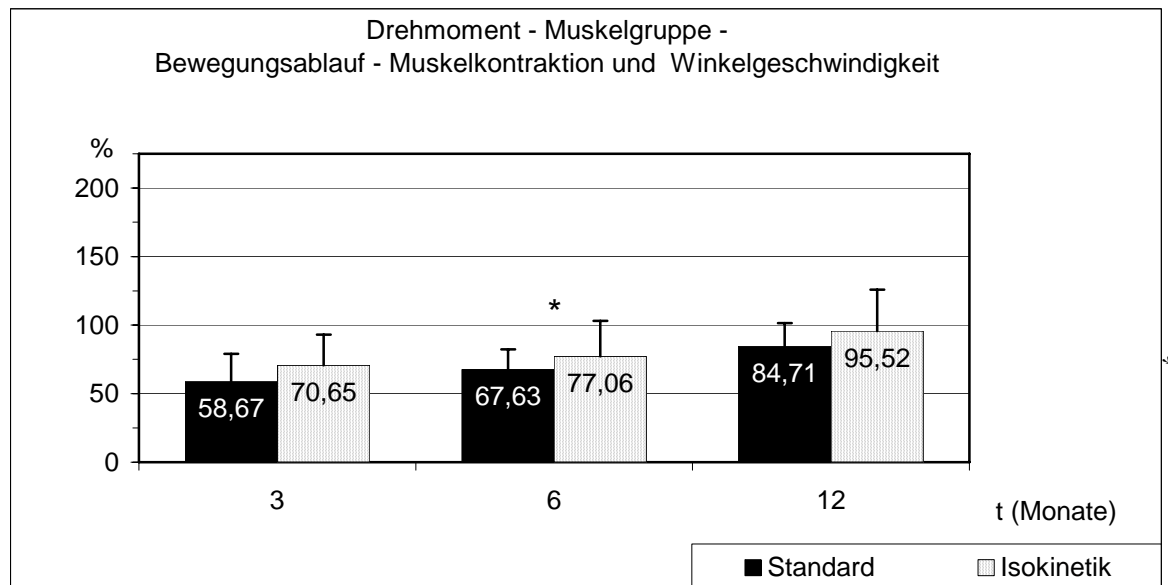
In beiden Gruppen kam es zu einem Anstieg der Punktzahl im Verlauf, ohne dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven nachzuweisen war.



Diag. 10: Punktwerte beider Kollektive beim Score nach Lysholm und Gillquist zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3. Isokinetik

Anhand des in Diag. 11 dargestellten Musters soll die Formatierung zum bessern Verständnis der Diagramme kurz erläutert werden.



Diag. 11: Muster zur Erklärung der Diagrammformatierung.

- Im Diagramm-Titel werden bezeichnet:
 1. Dargestellte Messgröße (Maximales Drehmoment = Peak torque).
 2. Muskelgruppe (Extensoren oder Flexoren).
 3. Bewegungsablauf der Übung (konzentrisch/exzentrisch oder konzentrisch/konzentrisch).
 4. Muskelkontraktion (konzentrisch oder exzentrisch) und Winkelgeschwindigkeit (60°/s oder 180°/s).
- Y-Achse = Drehmoment in % des gesunden Beines.
- X-Achse = Untersuchungszeitpunkte (3, 6 und 12 Monate postoperativ).
- Der schwarze Balken stellt immer die Standard-Gruppe dar, der gepunktete Balken immer die Isokinetik-Gruppe. Die Legende wird zur Verbesserung der Übersichtlichkeit einmal pro Seite aufgeführt.
- Statistisch signifikante Unterschiede sind mit einem * gekennzeichnet ($p < 0,05$).

3.1. Extensoren

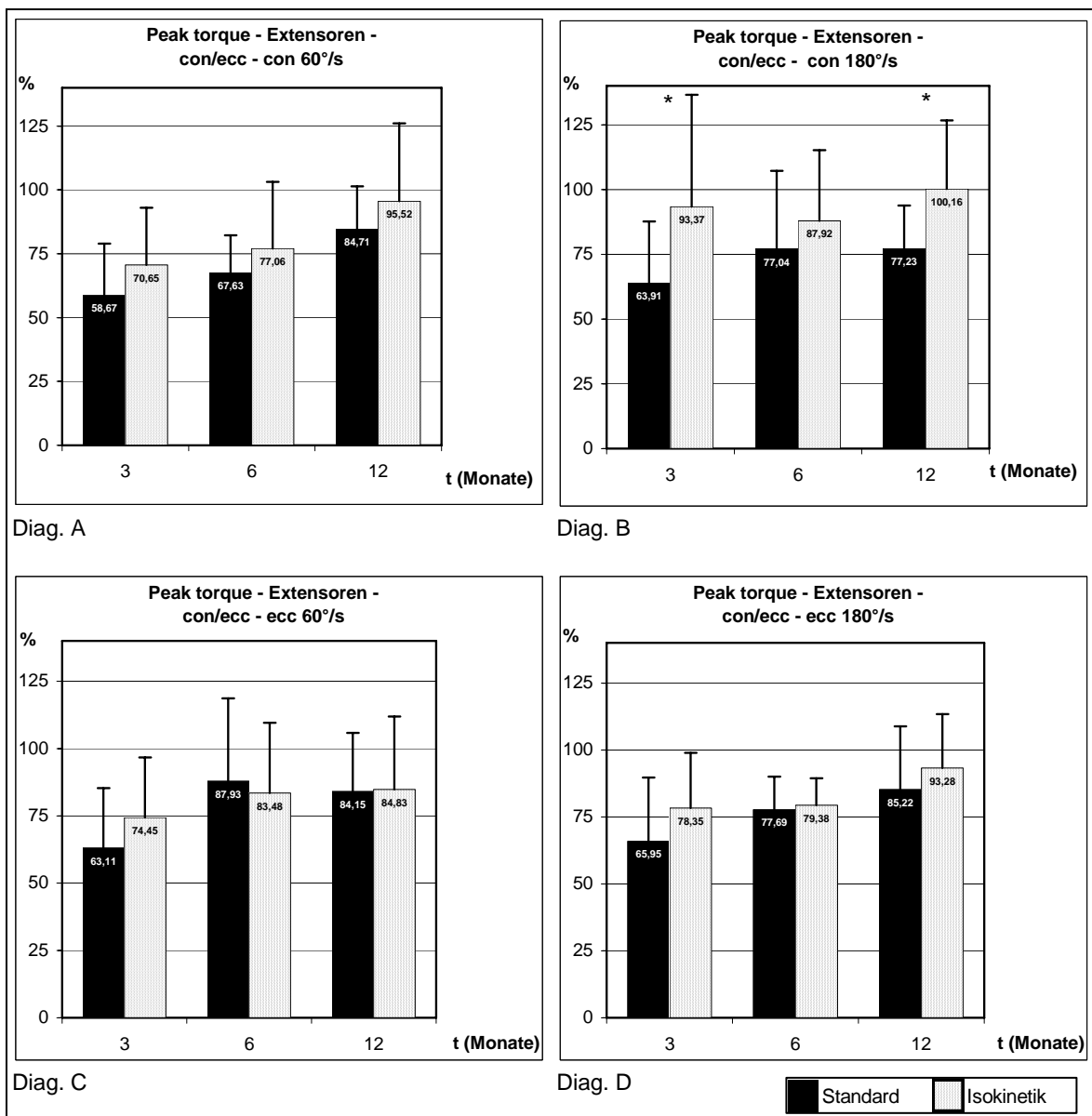
Den direkten Vergleich des peak torque des betroffenen und gesunden Beins eines Patienten mittels t-Test für verbundenen Stichproben zeigt Tabelle 5:

- In der Standard-Gruppe besteht zu allen Untersuchungszeitpunkten ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) des peak torque zu Ungunsten des betroffenen Beins, außer bei exzentrischer Messung mit einer Winkelgeschwindigkeit von $180^\circ/\text{s}$ nach 12 Monaten. Das Signifikanzniveau wurde hier nur knapp nicht erreicht.
- In der Isokinetik-Gruppe lässt sich nach 12 Monaten nur bei exzentrischer Kontraktion bei $60^\circ/\text{s}$ ein signifikanter Unterschied ($p = 0,044$) des maximalen Drehmoments zu Ungunsten des betroffenen Beins bei $60^\circ/\text{s}$ nachweisen. Das Signifikanzniveau wurde hier nur knapp erreicht. In allen anderen Kategorien hat sich nach 12 Monaten die Kraftentwicklung des betroffenen Beins der gesunden Seite angenähert.

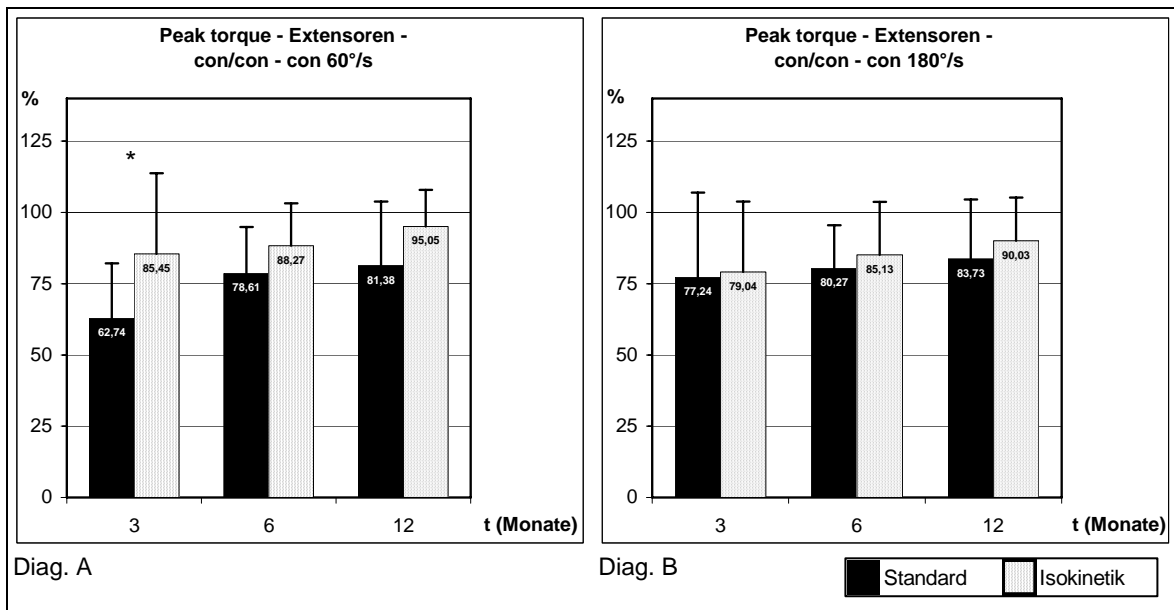
		con/ecc				con/con	
		con		ecc		con	
		$60^\circ/\text{s}$	$180^\circ/\text{s}$	$60^\circ/\text{s}$	$180^\circ/\text{s}$	$60^\circ/\text{s}$	$180^\circ/\text{s}$
Standard	3 Monate	*	*	*	*	*	*
	6 Monate	*	*	*	*	*	*
	12 Monate	*	*	*	($p = 0,075$)	*	*
Isokinetik	3 Monate	*		*	*		*
	6 Monate	*	($p = 0,073$)	*	*	($p = 0,073$)	*
	12 Monate			*($p = 0,044$)			

Tab. 5: Peak Torque beim individuellen Vergleich zwischen gesundem und betroffenem Bein. Signifikante Unterschiede ($* = p < 0,05$) zu Ungunsten des betroffenen Beins schattiert.

Diagramm 12 zeigt den Vergleich der Extensoren beider Gruppen bei konzentrisch/exzentrischem Bewegungsablauf. In der konzentrischen Phase fand sich ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der Isokinetik-Gruppe nach 3 und 12 Monaten bei einer Winkelgeschwindigkeit von 180 °/s. Bei konzentrisch/konzentrischem Bewegungsablauf zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei 60 °/s (Diagramm 13) nach 3 Monaten.



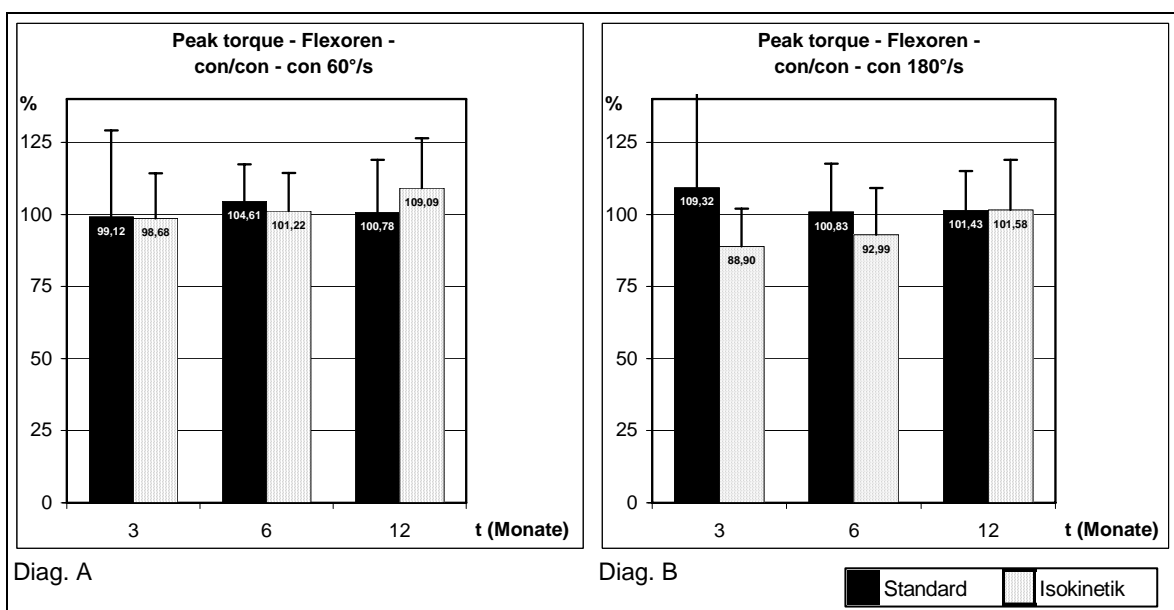
Diag. 12: Bewegungsablauf konzentrisch/exzentrisch. Darstellung der maximalen Drehmomente bei 60°/s und 180°/s in Relation zum gesunden Bein. Konzentrische Messungen A und B, exzentrische Messungen C und D. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) mit * markiert.



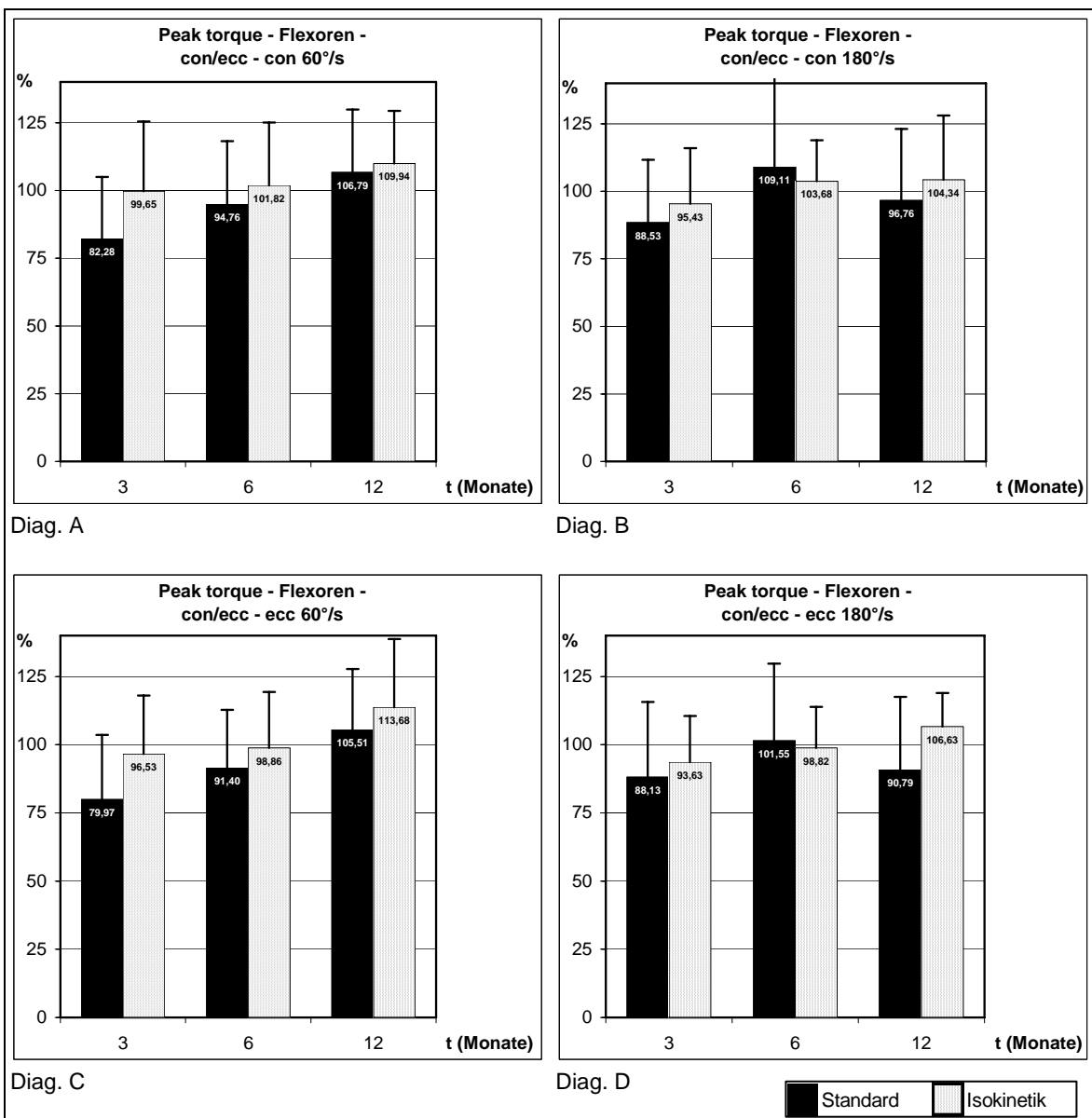
Diag. 13: Bewegungsablauf konzentrisch/konzentrisch. Darstellung der maximalen Drehmomente bei 60°/s und 180°/s in Relation zum gesunden Bein. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) mit * markiert.

3.2. Flexoren

Die Diagramme 14 und 15 zeigen den Vergleich der Flexoren beider Gruppen bei konzentrisch/konzentrischem und konzentrisch/exzentrischem Bewegungsablauf. Es lagen keine signifikanten Unterschiede vor.



Diag. 14: Bewegungsablauf konzentrisch/konzentrisch. Darstellung der maximalen Drehmomente bei 60°/s und 180°/s in Relation zum gesunden Bein.



Diag. 15: Bewegungsablauf konzentrisch/exzentrisch. Darstellung der maximalen Drehmomente bei 60°/s und 180°/s in Relation zum gesunden Bein. Konzentrische Messungen A und B, exzentrische Messungen C und D.

IV. Diskussion

1. Therapie der VKB-Ruptur

Nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt es bei konservativer Therapie häufig zu einer anhaltenden Funktionsbeeinträchtigung durch eine persistierende Instabilität oder zur Ausbildung einer sekundären Kniegelenksarthrose, insbesondere bei vermehrter Belastung des Gelenkes, beispielsweise durch sportliche Aktivität [8, 11, 19, 21, 23, 33, 36, 56, 74, 80]. Um dies zu vermeiden, werden operative Rekonstruktionsverfahren empfohlen.

- Primäre Naht: konnte sich nicht etablieren, da es in bis zu $\frac{2}{3}$ aller Fälle zu einem Therapieversagen kam [17, 18, 24, 25, 27, 41, 55, 64].
- Primäre Ersatzplastik: ist derzeit Therapie der Wahl für jüngere Patienten und solche mit einem hohen Stabilitätsbedarf, da gute operative Ergebnisse im Bezug auf die Wiederherstellung der Gelenkstabilität und –funktion berichtet werden [3, 7, 22, 49, 69, 84].

2. Problem der postoperativen Quadricepsatrophie

Bei allen von uns untersuchten Patienten trat in den ersten Wochen nach VKB-Plastik eine signifikante Atrophie der Quadricepmuskulatur auf, die sich in der Bestimmung der Beinumfangs zeigte. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus anderen Studien [4, 32]. Die funktionellen Auswirkungen hiervon sind jedoch noch unklar.

Des weiteren fanden wir eine Reduktion der maximalen Drehmomente in den isokinetischen Messungen, die den Ergebnissen von anderen Untersuchungsgruppen [4, 12, 32] entsprechen.

Es liegt nahe, dass diese Atrophie und das reduzierte maximale Drehmoment des betroffenen Beines zur Einschränkung der alltäglichen und insbesondere der

sportlichen Leistungsfähigkeit führen. Die physiologische muskuläre Gelenkführung des Knies ist beeinträchtigt, und somit das Risiko der Entstehung von Sekundärschäden erhöht (Gelenkverschleiß, erhöhte Vulnerabilität durch unzureichende Stabilisierung).

Um dem entgegen zu wirken bieten sich insbesondere die dynamischen Übungen in einer offenen oder geschlossenen Kette an. Eine viel versprechende Rolle kommt hier der Isokinetik zu, die es als offenes Verfahren erlaubt, eine gezielte Beübung der betroffenen Muskelgruppen durchzuführen. Theoretisch sollte hierdurch die Effektivität des Trainings erhöht werden, da im Gegensatz zur geschlossenen Kette keine kompensatorischen Bewegungen der angrenzenden Muskelgruppen, insbesondere der Hüftbeuger, möglich sind. Zudem lässt sich durch Vorgabe von Bewegungsparametern wie Winkelgeschwindigkeit und Bewegungsausmaß die Therapie optimal den individuell erforderlichen Bedürfnissen des Patienten anpassen. Der gleichmäßige Bewegungsablauf und computergestützte Analysen ermöglichen eine umfassende Kontrolle über die beübte Muskulatur.

Hierbei stellt sich die Frage, mit welchen Parametern die Effektivität des Trainings überprüft werden kann.

3. Auswahl und Zuverlässigkeit der Testparameter

3.1. Das maximale Drehmoment (peak torque)

Da das maximale Drehmoment von vielen Autoren als zuverlässigster Parameter der isokinetischen Evaluation angegeben wird [54, 83], wurde in der vorliegenden Studie auf eine Erhebung anderer Messgrößen verzichtet. Neben dem maximalen Drehmoment gibt es viele weitere Parameter (Winkelbeschleunigungs-Energie, winkelspezifisches Drehmoment, durchschnittliche Arbeit, etc.), die in der Praxis der isokinetischen Rehabilitation zum Einsatz kommen. Jedoch ist deren Nutzen oft nicht ausreichend belegt oder der zusätzlich Informationsgewinn nicht von entscheidender Bedeutung [37, 38, 40]. So zeigten KANNUS et al. [37], dass die Beschleunigungsenergie des maximalen Drehmoments und die durchschnittliche Kraft multipler Kontraktionen mit dem maximalen Drehmoment korrelieren.

Ein Zusammenhang von isokinetischen Messungen und Funktion des Kniegelenks und der gelenk-übergreifenden Muskulatur darf angenommen werden. JARVELA et al. [35] konnten anhand einer Studie von 86 Patienten nach Rekonstruktion des VKB zeigen, dass die Probanden mit dem größten isokinetische Kraftdefizit auch die schlechtesten Ergebnisse beim one legged hop testing for distance (Ein-Bein-Weitsprung) erzielten. Ebenso fanden sie eine signifikante Korrelation zwischen der Oberschenkelumfangsdifferenz und isokinetischem Kraftdefizit.

WILK et al. [82] konnten in einer Studie mit 50 Patienten ebenfalls zeigen, dass maximales Drehmoment und klinische funktionelle Tests (hop for distance, timed hop, cross-over triple hop) signifikant ($p < 0,001$) korrelieren.

KRAMER et al. [46] konnten gleichermaßen einen Zusammenhang zwischen der isokinetischen Kraftmessungen und dem Aktivitätslevel nach VKB-Rekonstruktion in einer Studie mit 30 Patienten nachweisen.

In beiden unserer Gruppen war das Defizit des maximalen Drehmoments gegenüber dem gesunden Bein bei langsamer Winkelgeschwindigkeit (60 °/s) größer als bei hoher Winkelgeschwindigkeit (180 °/s). In der Isokinetik-Gruppe fanden wir zum Beispiel nach 12 Monaten ein um 4 - 8% geringeres Kraftdefizit bei 180 °/s als bei 60 °/s bei konzentrisch/exzentrischem Bewegungsablauf. Vergleicht man unsere Ergebnisse mit den Studien von NATRI et al. [61] und NOVAK et al. [62] fällt auf, dass beide Autoren ebenfalls ein größeres Kraftdefizit bei langsameren Winkelgeschwindigkeiten fanden. Von NATRI et al. [61] wurde ein Kraftdefizit von 15-20% bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60 °/s gegenüber 9-18% bei 180 °/s angegeben. NOVAK et al. [62] gaben 11% bei 60 °/s bzw. 7% bei 180 °/s an, Diese Werte wurden jedoch 4 bzw. 2 Jahre nach VKB-Plastik erhoben und spiegeln somit nicht den frühen Rehabilitationsverlauf wider. Auch KOBAYASHI et al. [45] fanden in einer 2004 veröffentlichten Studie ein durchschnittliches isokinetisches Defizit von fast 10 % gegenüber dem gesunden Bein bei 36 Patienten zwei Jahre nach VKB-Ersatz bei Winkelgeschwindigkeiten von 60 °/s und 180 °/s. LEE et al. [50] stellten ebenfalls eine Reduktion des maximalen Drehmoments bei 67 Patienten ein und zwei Jahre postoperativ fest, das 18 % bzw. 11% gegenüber dem gesunden Bein bei eine Winkelgeschwindigkeit von 180 °/s betrug.

In einer Studie von SERPAS et al. [77] wird die Abnahme des peak torque bei zunehmender Winkelgeschwindigkeit anhand der Kraft–Geschwindigkeits–Beziehung der Quadricepsmuskulatur beschrieben. Dies ist auch als Ursache der geringeren Unterschiede des peak torque bei höheren Winkelgeschwindigkeiten zu sehen. Letztlich reduzieren sich hierdurch auch die auf das Transplantat wirkenden Translationskräfte bei höherer Winkelgeschwindigkeit.

3.2. Bestimmung des Oberschenkelumfangs

ARANGIO et al. [4] zeigten in ihrer Studie, dass kein direkter Rückschluss von einer Minderung des Oberschenkelumfangs auf die tatsächliche Atrophie des M. quadriceps femoris gezogen werden sollte, insbesondere nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes. Es wird von den Autoren angenommen, dass die Umfangsbestimmung das wahre Ausmaß der Atrophie unterschätzt. Eine eindeutige Korrelation konnte zwischen maximalem Drehmoment und kernspintomographischen Querschnittsmessungen gezeigt werden.

Dennoch korreliert der gemessene Oberschenkelumfang mit der isokinetischen Kraftentwicklung, wie von JARVELA et al. [35] gezeigt werden konnte.

Bei unseren Untersuchungen konnten wir - wie FINK et al. auch [21] - eine geringe Atrophie der Quadricepsmuskulatur durch Bestimmung der Beinumfangsdifferenzen feststellen. Es erscheint naheliegend, dass es durch die Verminderung der muskulären Querschnittsfläche zu einer Verringerung der isometrischen Kraftentwicklung kommt. Ob sich jedoch hieraus Konsequenzen für die funktionellen Eigenschaften der Extremität und betroffenen Muskulatur ableiten lassen ist letzten Endes nicht geklärt. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, wurde als Parameter der Funktion das maximale Drehmoment (peak torque) bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass zusätzlich zur muskulären Atrophie auch ein isokinetisches Defizit in Form eines verminderten maximalen Drehmoments, also eine funktionelle Veränderung, besteht.

Wir nehmen an, dass diese Veränderung zu Defiziten führt, die sich im Bereich sportlicher Aktivität, zum Beispiel durch eine Verminderung der Schnellkraft, zeigt. Zudem beeinträchtigt die funktionelle Veränderung nach einer Arthrotomie neben der Beschleunigung auch das Abbremsverhalten. HESS et al. [31] konnten in

einer Studie zeigen, dass sich die Muskelaktivierung verlangsamt und die Dauer der Kontraktion signifikant abnimmt.

Bei der Betrachtung unserer Ergebnisse fällt auf, dass die isokinetische Messung zur Bestimmung eines funktionellen Defizits gegenüber morphologischen Kriterien (Beinumfangsdifferenz) in Fällen geringer Unterschiede genauer und sensibler ist, was besonders bei der Untersuchung 6 Monate postoperativ eine große Rolle spielt. Aufgrund unserer Ergebnisse gehen wir davon aus, dass die Bestimmung rein morphologischer Parameter (Oberschenkelumfänge) zur Verlaufsbeurteilung einer rehabilitativen Maßnahme nach VKB-Plastik nicht ausreicht und funktionelle Defizite miterfasst werden sollten.

4. Auswirkungen des speziellen isokinetischen Trainings

4.1. Umfänge

Die Umfangsdifferenz als Ausdruck der Atrophie der verletzten Seite nimmt in der Standard-Gruppe bis zur 13. Woche zu. In der Isokinetik-Gruppe hingegen wird das Defizit im Vergleich zur gesunden Seite mit Beginn des isokinetischen Trainings in der 7. postoperativen Woche kleiner. So kommt es zu einem signifikanten Unterschied nach 3 Monaten zu Gunsten der beübten Gruppe. Die durchschnittliche Umfangsdifferenz zwischen gesundem und betroffenen Bein betrug in der Isokinetik-Gruppe 0,8 cm gegenüber 2,23 cm in der Standard-Gruppe. Auch beim statistischen Vergleich innerhalb der Gruppen mittels t-Test für verbundene Stichproben zeigt sich ein Vorteil für die isokinetisch beübte Gruppe. So war die gemessene Umfangsdifferenz zwischen beiden Beinen lediglich nach 6 Wochen signifikant. In der Standard-Gruppe hingegen bestand zu allen Untersuchungszeitpunkten ein signifikanter Umfangsunterschied zu Ungunsten des verletzten Beines, wenn auch dieser im Verlauf zwischen 3. und 12. Monat abnahm.

Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass das isokinetische Training der Quadricepsatrophie entgegenwirkt.

4.2. Isokinetik

In der vorliegenden Studie zeigt sich in der beübten Gruppe (Isokinetik-Kollektiv) ein signifikant geringeres Defizit der Drehmomente bei konzentrischer Kontraktion der Extensoren 3 und 12 Monate postoperativ und bei Winkelgeschwindigkeiten von 180 °/s im Vergleich zur Kontroll-Gruppe. Tendenziell ist dieser Vorteil auch bei 60°/s zu erkennen, jedoch waren hier die Unterschiede außer bei konzentrisch/konzentrischem Bewegungsablauf nicht signifikant. Eine einfache Erklärung hierfür wäre, dass eine eventuelle Verbesserung der Muskelfunktion am deutlichsten unter den Bedingungen nachweisbar würde, unter denen auch das Training durchgeführt wurde.

Bei exzentrischer Muskelkontraktion ist ein Trend zu Gunsten des Isokinetik-Kollektivs lediglich nach 3 Monaten erkennbar. Dies könnte ebenfalls durch die Trainingsbedingungen erklärt werden, die im Wesentlichen konzentrische Bewegungsabläufe enthielten.

Insbesondere die Messung des konzentrischen maximalen Drehmoments belegt eine schnellere Wiederherstellung der funktionellen Muskelaktivität in der beübten Gruppe. Somit konnten wir zeigen, dass ein modifiziertes isokinetisches Muskeltraining in der postoperativen Frühphase nach VKB-Plastik dazu beiträgt, das posttraumatische Funktionsdefizit der gelenkübergreifenden Muskulatur abzubauen und damit möglicherweise zu einer verbesserten Rehabilitation führt. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von ELMQVIST et al. [15]. Dass ELMQVIST et al. [15] in ihrer Studie keinen Unterschied zwischen isokinetischem Training und Training in einer geschlossenen Kette fanden könnte zum einen damit zusammenhängen, dass die isokinetische Nachuntersuchung im Mittel 28 Monate postoperativ stattfand und das Training von der 14. –20. Woche durchgeführt wurde. Möglicherweise war der Effekt des isokinetischen Trainings 2 Jahre nach dessen Beendigung nicht mehr nachzuweisen bzw. der Unterschied zum Kontrollkollektiv verstrichen.

HEHL et al. [29] bestätigten einen positiven Effekt eines frühen isokinetischen Quadricepstrainings ab der 7. postoperativen Woche. In dieser Studie konnte eine Verbesserung der Flexor/Extensor-Imbalance nach operativ versorgter Kreuzbandruptur gezeigt werden. Eine signifikante Zunahme des mittleren

maximalen Drehmoments fand sich im Gegensatz zu unseren Untersuchungen nicht, was mit den anders gewählten Trainingsparametern (insbesondere der größeren Winkelgeschwindigkeit) zusammenhängen könnte.

Im Vergleich zu einer von MIKKELSEN et al. [59] veröffentlichten Studie waren die Unterschiede in der isokinetischen Kraftentwicklung zwischen unseren beiden Gruppen weniger stark ausgeprägt. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass in unserer Studie strikt zwischen offenem (isokinetischen) und geschlossenem Verfahren getrennt wurde, wohingegen bei MIKKELSEN et al. [59] das Training in der geschlossenen Kette durch isokinetisches Quadricepstraining erweitert wurde und so ein Summationseffekt eine Rolle spielen könnte. Auch in dieser Arbeit war kein negativer Effekt auf die Stabilität des operierten Knies nachzuweisen.

Im Hinblick auf die Ergebnisse von KARANIKAS et al. [42], die in einer 2004 veröffentlichten Studie zeigen konnten, dass nach operativem VKB-Ersatz im Zeitraum zwischen 3 und 6 Monaten auch ein Kraftverlust der hüft- und sprunggelenksübergreifenden Muskulatur zu erwarten ist, scheint es sinnvoll das isokinetische Training mit einem Verfahren einer geschlossenen Kette zu kombinieren.

4.3. Scores

In den von uns erhobenen Scores zeigte keines der beiden Rehabilitationsverfahren einen eindeutigen Vorteil. Die Ergebnisse bestätigen die in bereits mehreren Studien [26, 34, 66] gezeigten guten funktionellen Ergebnisse nach arthroskopisch assistierter Kreuzbandplastik. 12 Monate nach dem Eingriff bemerken die meisten Patienten nur noch leichte oder gar keine Einschränkungen in der Funktionalität der betroffenen Extremität in alltäglichen Lebenssituationen. Die Rückkehr zu sportliche Aktivitäten ist in einer Vielzahl der Fälle möglich.

Im Vergleich zur isokinetischen Evaluation zeigt sich jedoch, dass die Scores zur differenzierten Beurteilung der Gelenkfunktion nicht ausreichend sind. Die in der isokinetischen Messung gefundenen funktionellen Defizite werden von den hier verwendeten Scores nicht wiedergegeben. Gerade diese feinen funktionellen

Defizite werden aber von Patienten mit hoher Gelenkbeanspruchung in Beruf oder Sport wahrgenommen und sind wichtig zur Beurteilung der Freigabe für gelenkbelastende Tätigkeiten.

4.4. Stabilität

Das Transplantat ist in den ersten Wochen histomorphologischen und biomechanischen Veränderungen unterworfen, die seine Belastbarkeit einschränken [72]. Wie in Arbeiten von KAUFMAN et al. [43], KVIST et al. [48], SERPAS et al. [77] und TOUTOUNGI et al. [79] gezeigt werden konnte, sind die bei isokinetischen Übungen auftretenden Translationskräfte, insbesondere bei langsamer Winkelgeschwindigkeit und bei niedrigem Kniebeugungswinkel sowie exzentrischer Kontraktion, wesentlich größer als bei Übungen in einer geschlossenen Kette. Um das Transplantat nicht zu schädigen wird derzeit ein isokinetisches Training der Quadricepsmuskulatur in der postoperativen Frühphase nicht empfohlen.

Nach Rekonstruktion des VKB ist das Transplantat in der Anfangsphase biologischen Umbauprozessen unterworfen [1, 6, 13], sodass zunächst eine verminderte Belastbarkeit vorliegt. Wie RUPP et al. [72] zeigen konnten, lässt sich eine Belastbarkeitsgrenze von ungefähr 200 N in der 4.-8. postoperativen Woche ermitteln. Je nach Operationsmethode, verwendetem Material und Transplantatfixierung kann es zu Abweichungen kommen. Bei einer Belastung oberhalb des genannten Wertes ist deshalb eine Dehnung oder Zerreißungen des Transplantats oder ein Versagen der Fixierung zu befürchten, was zu einer neuerlichen Instabilität führen würde.

Das in unserer Studie verwendete modifizierte isokinetische Quadricepstraining führt nicht zu einer Beeinträchtigung des Transplantats. Bei keinem unserer Patienten fanden sich zu den Nachuntersuchungszeitpunkten klinische oder apparative Zeichen der Instabilität. HEHL et al. [29] zeigten ebenfalls, dass ein frühes isokinetisches Quadricepstraining bei hohen Winkelgeschwindigkeiten nicht zu einer Gelenkinstabilität führt. Von den Autoren wurde das Bewegungsausmaß des Trainings zur Reduktion der Translationskräfte zwischen 20° und 90° Flexion definiert. Dies wurde aufgrund vorangegangener Untersuchungen [5, 30] als

sicher angesehen. KVIST et al. [47], SERPAS et al. [77] und TOUTOUNGI et al. [79] zeigten jedoch mit ihren Messungen und Berechnungen der anterior-posterioren Translationskräfte insbesondere im Hinblick auf isokinetische Rehabilitation, dass eine Transplantatschädigung vor allem bei exzentrischen Bewegungen und niedrigen Winkelgeschwindigkeiten befürchtet werden muss. Die auftretenden Kräfte können nach Einschätzung der Autoren bei maximal ca. 240-500 N liegen. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie eine minimale Winkelgeschwindigkeit von 120 °/s vorgegeben und das Bewegungsausmaß zum Erhalt einer sicheren Maßnahme auf 50-90° Flexion eingeschränkt. Ebenso wie von HEHL et al. [29] wurde zudem während den Übungen eine mechanische Abstützvorrichtung (shin-pad) nach Johnson von uns verwendet.

Da die Stabilität des Transplantats entscheidend von Fixation und verwendetem Material abhängt, ist das hier vorgestellte Rehabilitationsregime nicht ohne weiteres auf andere Operationsverfahren übertragbar.

5. Schlussfolgerung

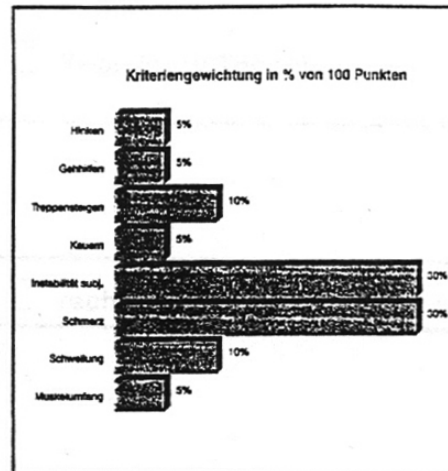
Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das adaptierte isokinetische Quadricepstraining in der Frühphase nach arthroskopisch assistierter Kreuzbandplastik mit autologem Patellasehnen-Transplantat im Bezug auf die postoperative Muskelfunktion und Atrophievermeidung eine höhere Effektivität besitzt als das Training in einer geschlossenen Kette.

Dabei konnte durch die Wahl einer hohen Winkelgeschwindigkeit größer 120 °/s beim isokinetischen Training, die Begrenzung des Bewegungsausmaßes während der Übung auf einen Winkel zwischen 90° und 50° Flexion und das Anlegen eines Shin-pads eine Schädigung des Transplantats vermieden werden.

V. Anhang

Score nach Lysholm und Gillquist

Spez. Anw.	Kniebandinstabilitäten
Allg. Anw.	Möglich
Bereich	Klinischer Score
Subj./Obj.	95% subj. / 5% obj.
Häufigkeit	Häufig
Literatur	Lysholm J, Gillquist J (1982) Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. Am J Sports Med 10: 150-154
Anmerk.	Der am häufigsten verwendete Score zur Evaluation von Kniebandinstabilitäten 12



Krimp (5 points)	None Slight or periodical Severe or constant	5 3 0	Support (5 points)	Full support Stick or crutch Weight-bearing impossible	5 3 0
Stair-climbing (10 points)	No problems Slightly impaired One step at a time Unable	10 6 2 0	Squatting (5 points)	No problems Slightly impaired Not past 90° Unable	5 4 2 0
Walking, running and jumping: (70 points)					
Instability (30 points)	Never giving way Rarely during athletics or other severe exertion Frequently during athletics or other severe exertion (or unable to participate) Occasionally in daily activities Often in daily activities Every step	30 25 20 10 5 0	Pain (30 points)	None Inconstant and slight during severe exertion Marked on giving way Marked during severe exertion Marked on or after walking more than 2 km Marked on or after walking less than 2 km Constant and severe	30 25 20 15 10 5 0
Swelling (10 points)	None With giving way On severe exertion On ordinary exertion Constant	10 7 5 2 0	Atrophy of thigh	None 1 - 2 cm More than 2 cm	5 3 0

Abb. 7: Score nach Lysholm und Gillquist.

Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm

Spez. Anw.	Kniebandinstabilitäten
Allg. Anw.	Möglich
Bereich	Klinischer Score
Häufigkeit	Häufig
Literatur	Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. Clin Orthop 198: 43-49
Anmerk.	11 Abstufungen. Aktivitätslevel 10 - 0; kein Score im engeren Sinn

0.	Sick leave or disability pension because of knee problems.
1.	Work: sedentary work Walking on even ground possible
2.	Work: light labor Walking on uneven ground possible but impossible to walk in forest
3.	Work: light labor (e.g., nursing) Competitive and recreational sports: swimming Walking in forest possible
4.	Work: moderately heavy labor (e.g., truck driving, heavy domestic work) Recreational sports: cycling, cross-country skiing, Jogging on even ground at least twice weekly
5.	Work: Heavy labor work (e.g., building, forestry) Competitive sports: cycling, cross-country skiing Recreational sports: jogging on uneven ground at least twice weekly
6.	Recreational sports: tennis and badminton, handball, basketball, downhill skiing, jogging, at least five times per week
7.	Competitive sports: tennis, athletics (running), motorcross, speedway, handball, basketball Recreational sports: soccer, bandy and ice hockey, squash, athletics (jumping) Cross-country track findings both recreational and competitive
8.	Competitive sports: bandy, squash or badminton, athletics (jumping, etc.), downhill skiing
9.	Competitive sports: soccer, lower divisions, ice hockey, wrestling, gymnastics
10.	Competitive sports: soccer - national and international elite

Abb. 8: Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm.

The Knee Ligament Standard Evaluation Form					
The seven groups	The four grades				Group Grade ①
1. Patient subjective assessment	A: normal	B: nearly normal	C: abnormal	D: severely abnormal	
On a scale of 0 to 3 how did you rate your pre-injury activity level?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	
On a scale of 0 to 3 how did you rate your current activity level?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	
If your normal knee performs 100%, what percentage does your operated knee perform?	_____ %				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. Symptoms ②	I strenuous activities	II moderate activities	III ADL/light act.	IV ADL problems	
Pain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Swelling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Partial giving way	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Full giving way	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. Range of motion	Index side / / °		Opposite side / / °		
Flexion/Extension					
Lack of extension ③	<input type="checkbox"/> < 3°	<input type="checkbox"/> 3 - 5°	<input type="checkbox"/> 6 - 10°	<input type="checkbox"/> > 10°	
Lack of flexion	<input type="checkbox"/> 0 - 5°	<input type="checkbox"/> 6 - 15°	<input type="checkbox"/> 16 - 25°	<input type="checkbox"/> > 25°	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4. Ligament examination					
Lachmann (25° flexion)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Endpoint	<input type="checkbox"/> firm		<input type="checkbox"/> soft		
Total a.p. transl. (70° flex.)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Post. sag in 70° flexion	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Medial joint opening (valgus rotation)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Lateral joint opening (varus rotation)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Pivot shift	<input type="checkbox"/> Ø (negative)	<input type="checkbox"/> + (glide)	<input type="checkbox"/> ++ (clunk)	<input type="checkbox"/> +++ (gross)	
Reversed pivot shift	<input type="checkbox"/> equal	<input type="checkbox"/> glide	<input type="checkbox"/> marked	<input type="checkbox"/> gross	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5. Compartmental findings					
Crepitus patellofemoral	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> moderate	<input type="checkbox"/> severe	
Crepitus med. compartment	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> moderate	<input type="checkbox"/> severe	
Crepitus lat. compartment	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> moderate	<input type="checkbox"/> severe ④	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6. X-ray findings					
Med. joint space narrowing	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%	
Lateral joint space narrowing	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%	
Patellofemoral joint space narrowing	<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7. Functional test					
one leg hop (% of opposite side)	<input type="checkbox"/> 100 - 90%	<input type="checkbox"/> 90 - 76%	<input type="checkbox"/> 75 - 50%	<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Final evaluation ⑤					<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

① Group grade: The lowest grade within a group determines the group grade.
 ② Grade at highest activity level known by patient.
 ③ From zero degrees.
 ④ Palpable & audible.
 ⑤ In a final evaluation all 7 groups are to be evaluated, for a quick knee profile the evaluation of group 1 - 4 are sufficient.

Abb. 9: The Knee Ligament Standard Evaluation Form nach IKDC.

VI. Literaturverzeichnis

1. Amiel D, Kleiner JB, Roux RD, Harwood FL, Akeson WH (1986) The phenomenon of "ligamentization": anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. J Orthop Res 4: 162-172
2. Anderson JL, Lamb SE, Barker KL, Davies S, Dodd CA, Beard DJ (2002) Changes in muscle torque following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between hamstrings and patella tendon graft procedures on 45 patients. Acta Orthop Scand 73: 546-552
3. Andersson C, Odensten M, Gillquist J (1991) Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with a long-term follow-up period. Clin Orthop 255-263
4. Arangio GA, Chen C, Kalady M, Reed JF, III (1997) Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. J Orthop Sports Phys Ther 26: 238-243
5. Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, Fischer RA, Arvidsson I, Eriksson E (1984) The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. Am J Sports Med 12: 8-18
6. Arnoczky SP, Tarvin GB, Marshall JL (1982) Anterior cruciate ligament replacement using patellar tendon. An evaluation of graft revascularization in the dog. J Bone Joint Surg Am 64: 217-224
7. Bach BR, Jr., Levy ME, Bojchuk J, Tradonsky S, Bush-Joseph CA, Khan NH (1998) Single-incision endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Minimum two-year follow-up evaluation. Am J Sports Med 26: 30-40

8. Barrack RL, Bruckner JD, Kneisl J, Inman WS, Alexander AH (1990) The outcome of nonoperatively treated complete tears of the anterior cruciate ligament in active young adults. Clin Orthop 192-199
9. Barrett GR, Richardson K (1996) Comparison of rear-entry (two-incision) and endoscopic techniques for reconstruction of the anterior cruciate ligament. J South Orthop Assoc 5: 87-95
10. Bohnsack M, Ruhmann O, Luck K, Wirth CJ (2002) [The influence of age on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction]. Z Orthop Ihre Grenzgeb 140: 194-198
11. Bonamo JJ, Fay C, Firestone T (1990) The conservative treatment of the anterior cruciate deficient knee. Am J Sports Med 18: 618-623
12. Carter ND, Jenkinson TR, Wilson D, Jones DW, Torode AS (1997) Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. Br J Sports Med 31: 209-212
13. Clancy WG, Jr., Ray JM, Zoltan DJ (1988) Acute tears of the anterior cruciate ligament. Surgical versus conservative treatment. J Bone Joint Surg Am 70: 1483-1488
14. Desnica BN (2003) Dynamics of muscle strength improvement during isokinetic rehabilitation of athletes with ACL rupture and chondromalacia patellae. J Sports Med Phys Fitness 43: 69-74
15. Elmqvist LG, Lorentzon R, Langstrom M, Fugl-Meyer AR (1988) Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Long-term effects of different knee angles at primary immobilization and different modes of early training. Am J Sports Med 16: 455-462
16. Elmqvist LG, Lorentzon R, Johansson C, Langstrom M, Fagerlund M, Fugl-Meyer AR (1989) Knee extensor muscle function before and after reconstruction of anterior cruciate ligament tear. Scand J Rehabil Med 21: 131-139

17. Engebretsen L, Svenningsen S, Benum P (1988) Poor results of anterior cruciate ligament repair in adolescence. *Acta Orthop Scand* 59: 684-686
18. Engebretsen L, Benum P, Sundalsvoll S (1989) Primary suture of the anterior cruciate ligament. A 6-year follow-up of 74 cases. *Acta Orthop Scand* 60: 561-564
19. Engstrom B, Gornitzka J, Johansson C, Wredmark T (1993) Knee function after anterior cruciate ligament ruptures treated conservatively. *Int Orthop* 17: 208-213
20. Felicetti G, Brignoli E, Roveskala R, Maini M, Scarabelli DA (1996) [Control of muscle reinforcement with the isokinetic endurance test in patients undergoing reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee]. *G Ital Med Lav* 18: 73-76
21. Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Judmaier W (1994) [(Neuro)muscular changes in the knee stabilizing muscles after rupture of the anterior cruciate ligament]. *Sportverletz Sportschaden* 8: 25-30
22. Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Hackl W, Gabl M (1996) [Long-term outcome of conservative or surgical therapy of anterior cruciate ligament rupture]. *Unfallchirurg* 99: 964-969
23. Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP (2001) Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture--is sports activity a determining variable? *Int J Sports Med* 22: 304-309
24. Fruensgaard S, Kroner K, Riis J (1992) Suture of the torn anterior cruciate ligament. 5-year follow-up of 60 cases using an instrumental stability test. *Acta Orthop Scand* 63: 323-325
25. Gerber C, Matter P (1983) Biomechanical analysis of the knee after rupture of the anterior cruciate ligament and its primary repair. An instant-centre analysis of function. *J Bone Joint Surg Br* 65: 391-399

26. Gobbi A, Diara A, Mahajan S, Zanazzo M, Tuy B (2002) Patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction with conical press-fit femoral fixation: 5-year results in athletes population. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 10: 73-79
27. Haaverstad R, Salkowitsch B, Griegel K, Bergmann S, Engebretsen L (1990) [Primary suture of the anterior cruciate ligament at a county hospital]. *Tidsskr Nor Laegeforen* 110: 217-220
28. Harter RA, Osternig LR, Standifer LW (1990) Isokinetic evaluation of quadriceps and hamstrings symmetry following anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil* 71: 465-468
29. Hehl G, Hoellen I, Wissmeyer T, Ziegler U (1995) [Isokinetic muscle training with high motion speeds in the rehabilitation following surgical treatment of fresh anterior cruciate rupture]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 133: 306-310
30. Henning CE, Lynch MA, Glick KR, Jr. (1985) An in vivo strain gage study of elongation of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 13: 22-26
31. Hess T, Gleitz M, Hopf T, Olf S, Mielke U (1995) Changes in muscular activity after knee arthrotomy and arthroscopy. *Int Orthop* 19: 94-97
32. Hess T, Duchow J, Roland S, Kohn D (2002) Single-versus two-incision technique in anterior cruciate ligament replacement: influence on postoperative muscle function. *Am J Sports Med* 30: 27-31
33. Ikeda H (1993) [Isokinetic torque of quadriceps in patients with untreated anterior cruciate ligament injury of the knee joint]. *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi* 67: 826-351S
34. Jarvela T, Nyyssonen M, Kannus P, Paakkala T, Jarvinen M (1999) Bone-patellar tendon-bone reconstruction of the anterior cruciate ligament. A long-term comparison of early and late repair. *Int Orthop* 23: 227-231

35. Jarvela T, Kannus P, Latvala K, Jarvinen M (2002) Simple measurements in assessing muscle performance after an ACL reconstruction. *Int J Sports Med* 23: 196-201
36. Kannus P, Jarvinen M (1987) Conservatively treated tears of the anterior cruciate ligament. Long-term results. *J Bone Joint Surg Am* 69: 1007-1012
37. Kannus P, Jarvinen M (1989) Prediction of torque acceleration energy and power of thigh muscles from peak torque. *Med Sci Sports Exerc* 21: 304-307
38. Kannus P, Jarvinen M, Lehto M (1991) Maximal peak torque as a predictor of angle-specific torques of hamstring and quadriceps muscles in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63: 112-118
39. Kannus P, Jarvinen M, Johnson R, Renstrom P, Pope M, Beynnon B, Nichols C, Kaplan M (1992) Function of the quadriceps and hamstrings muscles in knees with chronic partial deficiency of the anterior cruciate ligament. Isometric and isokinetic evaluation. *Am J Sports Med* 20: 162-168
40. Kannus P (1994) Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med* 15 Suppl 1: S11-S18
41. Kaplan N, Wickiewicz TL, Warren RF (1990) Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A long-term follow-up study. *Am J Sports Med* 18: 354-358
42. Karanikas K, Arampatzis A, Bruggemann GP (2004) [Development of muscle strength in knee, hip and ankle joints after ACL reconstruction]. *Sportverletz Sportschaden* 18: 130-135
43. Kaufman KR, An KN, Litchy WJ, Morrey BF, Chao EY (1991) Dynamic joint forces during knee isokinetic exercise. *Am J Sports Med* 19: 305-316

44. Keays SL, Bullock-Saxton J, Keays AC, Newcombe P (2001) Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *Knee* 8: 229-234
45. Kobayashi A, Higuchi H, Terauchi M, Kobayashi F, Kimura M, Takagishi K (2004) Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop* 28: 48-51
46. Kramer J, Nusca D, Fowler P, Webster-Bogaert S (1993) Knee flexor and extensor strength during concentric and eccentric muscle actions after anterior cruciate ligament reconstruction using the semitendinosus tendon and ligament augmentation device. *Am J Sports Med* 21: 285-291
47. Kvist J, Gillquist J (1999) Anterior tibial translation during eccentric, isokinetic quadriceps work in healthy subjects. *Scand J Med Sci Sports* 9: 189-194
48. Kvist J, Karlberg C, Gerdle B, Gillquist J (2001) Anterior tibial translation during different isokinetic quadriceps torque in anterior cruciate ligament deficient and nonimpaired individuals. *J Orthop Sports Phys Ther* 31: 4-15
49. Laffargue P, Delalande JL, Decoux J (1997) [Reconstruction of the anterior cruciate ligament by bone-patellar tendon transplant. Evaluation of 79 cases. Prognostic factors]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 83: 505-514
50. Lee S, Seong SC, Jo H, Park YK, Lee MC (2004) Outcome of anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft. *Arthroscopy* 20: 795-802
51. Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L (2002) The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 17: 56-63
52. Li CK, Chan KM, Hsu SY, Chien P, Wong MW, Yuan Y (1993) The Johnson antishear device and standard shin pad in the isokinetic assessment of the knee. *Br J Sports Med* 27: 49-52

53. Li CK, Chan KM, Hsu YS, Chien P, Wong WN (1995) A quantifiable approach in the comparison of isokinetic assessment data--new correlation equations for the Johnson antishear device and standard shin pad in the isokinetic assessment of the knee. *Br J Sports Med* 29: 171-173
54. Li RC, Wu Y, Maffulli N, Chan KM, Chan JL (1996) Eccentric and concentric isokinetic knee flexion and extension: a reliability study using the Cybex 6000 dynamometer. *Br J Sports Med* 30: 156-160
55. Lind T, Johannsen HV, Lauritzen J (1990) [Results after primary suture of rupture of the anterior cruciate ligament. A 4-5 year follow-up]. *Ugeskr Laeger* 152: 670-672
56. Lobenhoffer P, Tscherne H (1993) [Rupture of the anterior cruciate ligament. Current status of treatment]. *Unfallchirurg* 96: 150-168
57. Lysholm M, Messner K (1995) Sagittal plane translation of the tibia in anterior cruciate ligament-deficient knees during commonly used rehabilitation exercises. *Scand J Med Sci Sports* 5: 49-56
58. Meyers MC, Sterling JC, Marley RR (2002) Efficacy of stairclimber versus cycle ergometry in postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation. *Clin J Sport Med* 12: 85-94
59. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E (2000) Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8: 337-342
60. Mok DW, Dowd GS (1993) Long-term results of anterior cruciate reconstruction with the patellar tendon. *Injury* 24: 385-388

61. Natri A, Jarvinen M, Latvala K, Kannus P (1996) Isokinetic muscle performance after anterior cruciate ligament surgery. Long-term results and outcome predicting factors after primary surgery and late-phase reconstruction. *Int J Sports Med* 17: 223-228
62. Novak PJ, Bach BR, Jr., Hager CA (1996) Clinical and functional outcome of anterior cruciate ligament reconstruction in the recreational athlete over the age of 35. *Am J Knee Surg* 9: 111-116
63. Noyes FR, Mangine RE, Barber S (1987) Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 15: 149-160
64. Odensten M, Lysholm J, Gillquist J (1984) Suture of fresh ruptures of the anterior cruciate ligament. A 5-year follow-up. *Acta Orthop Scand* 55: 270-272
65. Osteras H, Augestad LB, Tondel S (1998) Isokinetic muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 8: 279-282
66. Otto D, Pinczewski LA, Clingeleffer A, Odell R (1998) Five-year results of single-incision arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med* 26: 181-188
67. Palmitier RA, An KN, Scott SG, Chao EY (1991) Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med* 11: 402-413
68. Plancher KD, Steadman JR, Briggs KK, Hutton KS (1998) Reconstruction of the anterior cruciate ligament in patients who are at least forty years old. A long-term follow-up and outcome study. *J Bone Joint Surg Am* 80: 184-197
69. Pokar S, Wissmeyer T, Krischak G, Kiefer H, Kinzl L, Hehl G (2001) [Arthroscopically-assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament with autologous patellar tendon replacement-plasty. 5 years results]. *Unfallchirurg* 104: 317-324

70. Risberg MA, Holm I, Tjomsland O, Ljunggren E, Ekeland A (1999) Prospective study of changes in impairments and disabilities after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 29: 400-412
71. Rosenberg TD, Franklin JL, Baldwin GN, Nelson KA (1992) Extensor mechanism function after patellar tendon graft harvest for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 20: 519-525
72. Rupp S, Hopf T, Gleitz M, Hess T (1994) [Biomechanical principles of after-care in replacement of the anterior cruciate ligament]. *Unfallchirurgie* 20: 303-310
73. Sandberg R, Balkfors B (1988) Reconstruction of the anterior cruciate ligament. A 5-year follow-up of 89 patients. *Acta Orthop Scand* 59: 288-293
74. Scavenius M, Bak K, Hansen S, Norring K, Jensen KH, Jorgensen U (1999) Isolated total ruptures of the anterior cruciate ligament--a clinical study with long-term follow-up of 7 years. *Scand J Med Sci Sports* 9: 114-119
75. Schmalz T, Blumentritt S, Wagner R, Junge R (1998) [Evaluation with biomechanical gait analysis of various treatment methods after rupture of the anterior cruciate ligament]. *Sportverletz Sportschaden* 12: 131-137
76. Sernert N, Kartus J, Kohler K, Stener S, Larsson J, Eriksson BI, Karlsson J (1999) Analysis of subjective, objective and functional examination tests after anterior cruciate ligament reconstruction. A follow-up of 527 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7: 160-165
77. Serpas F, Yanagawa T, Pandy M (2002) Forward-dynamics simulation of anterior cruciate ligament forces developed during isokinetic dynamometry. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 5: 33-43
78. Thomson LC, Handoll HHG, Cunningham A, Shaw PC. Physiotherapist-led programmes and interventions for rehabilitation of anterior cruciate ligament, medial collateral ligament and meniscal injuries of the knee in adults. [Issue 4 2002]. The Cochrane Library.

79. Toutoungi DE, Lu TW, Leardini A, Catani F, O'Connor JJ (2000) Cruciate ligament forces in the human knee during rehabilitation exercises. Clin Biomech (Bristol, Avon) 15: 176-187
80. Wentzensen A, Hochstein P (1998) [Management of the anterior cruciate ligament rupture: indications, choice of procedure, timing, concomitant and after-care]. Zentralbl Chir 123: 970-980
81. Wilk KE, Andrews JR (1993) The effects of pad placement and angular velocity on tibial displacement during isokinetic exercise. J Orthop Sports Phys Ther 17: 24-30
82. Wilk KE, Romaniello WT, Soscia SM, Arrigo CA, Andrews JR (1994) The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. J Orthop Sports Phys Ther 20: 60-73
83. Wu Y, Li RC, Maffulli N, Chan KM, Chan JL (1997) Relationship between isokinetic concentric and eccentric contraction modes in the knee flexor and extensor muscle groups. J Orthop Sports Phys Ther 26: 143-149
84. Zysk SP, Refior HJ (2000) Operative or conservative treatment of the acutely torn anterior cruciate ligament in middle-aged patients. A follow-up study of 133 patients between the ages of 40 and 59 years. Arch Orthop Trauma Surg 120: 59-64

VII. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: eigene Fotographie.

Abbildung 2: Internet search.

Abbildung 3: Schema Kreuzbandplastik.

Abbildung 4: von der Homepage der MED Metric Corp., San Diego.

Abbildung 5: eigene Fotographie.

Abbildung 6 eigene Fotographie.

Abbildung 7: Fotokopie des Scores nach Lysholm und Tegner.

Abbildung 8: Fotokopie des Aktivitätsscores nach Tegner und Lysholm.

Abbildung 9: Fotokopie der knee standard evaluation form des IKDC.

VIII. Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater PD Dr. med. Thomas Hess für die Überlassung des Themas und die engagierte Unterstützung in allen Belangen.

Weiterhin danke ich dem Betreuer meiner Arbeit Dr. med. J. Duchow, sowie den Assistenzärzten der Orthopädischen Klinik Homburg, die mich unterstützt haben, sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Biometrie der Universitätskliniken des Saarlandes, die mir bei dieser Dissertation geholfen haben.

Besonderer Dank gilt auch meinem Freund und Kommilitonen Stefan Roland, auf dessen konstruktive Anregungen ich nicht hätte verzichten können.

Ein herzliches Dankeschön auch an das Therapie Zentrum Von der Leyen mit allen Seinen Mitarbeitern, insbesondere Volker Wieland.

Ein spezielles Dankeschön meiner Frau Monika und meiner Tochter Celina, ohne deren Hilfe ich diese Arbeit nicht hätte vollenden können.

Zudem danke ich meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und mich unterstützt haben.

Des weiteren danke ich meiner Schwester Alexandra Schröder, meinem Bruder Andreas Ruhe, Oliver Wessels, Thomas Braun, Karsten Tank und Familie, Martin Pfisterer, Christine Ullrich, Lutz Schaper, Bernd Nitsche, Tobias Beham, Dominique Albrecht, Rosa Diaz-Munoz, Rodja Nowitzki, Robert Eichel, Oliver Bianchi, Thorsten Mais, Ramin und Tamara Anbeh, Markus Weber, Kornelius Ohlhausen, Frank Nitsche, Cengiz Balkan, Tobias Wittenauer, Natalie Jandl, Melanie Schabel, Christina Bähr, Michael Kurr, Christian Hödl, Randi Furman, Stefan Bächle, Dennis Ulamec, und allen die hier nicht erwähnt sind.

IX. Lebenslauf

Persönliche Daten

Daniel Böhm

Geburtsdatum: 07.04.1973

Geburtsort: Stuttgart Bad-Cannstatt

Staatsangehörigkeit: deutsch

Konfession: evangelisch

Familienstand: verheiratet, 1 Kind

Schulbildung

09.79 – 07.83: Grundschule Neckarrems

09.83 – 06.92: Lise-Meitner-Gymnasium Remseck

27.05.92: Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Freiwilliges Soziales Jahr

09.92 – 08.93: Geriatrische Klinik Esslingen

Hochschulausbildung

1993 - 2000: Studium der Humanmedizin
an der Universität des Saarlandes

04.09.95: Ärztliche Vorprüfung

29.08.96: 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

30.03.99: 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Praktisches Jahr

04.99 – 07.99: Dr. med. Gawlitza, Neurologische Klinik,
Knappschaftskrankenhaus Sulzbach

08.99 – 11.99: Prof. Dr. med. Rettig-Stürmer, Innere Medizin,
Knappschaftskrankenhaus Sulzbach

12.99 – 03.00: Dr. med. Waschke, Allgemeinchirurgie
Knappschaftskrankenhaus Sulzbach

05.05.00: Ärztliche Prüfung

Arzt im Praktikum (AIP)

07.00 – 12.01: PD Dr. med. Strittmatter Neurologische Klinik
SHG Kliniken Merzig

01.01.02: **Erteilung der Approbation als Arzt**

Assistenzarzt in Weiterbildung Neurologie

Seit 01.02: Prof. Dr. med. Strittmatter Neurologische Klinik
Klinikum Merzig

Seit 07.04: CA Dr. med. Kaiser Psychiatrische Klinik
Klinikum Merzig